

Aula 10 - Profº Felipe

*PETROBRAS (Engenharia de
Equipamento - Mecânica)
Conhecimentos Específicos - 2021
(Pós-Edital)*

Autor:

Felipe Canella, Juliano de Pelegrin

23 de Dezembro de 2021

Sumário

TRATAMENTOS TÉRMICOS	4
Fatores que afetam os tratamentos térmicos	5
Tratamentos térmicos calóricos: recozimento	9
Recozimento total ou pleno	9
Recozimento em Caixa	12
Recozimento para alívio de tensões (ou subcrítico)	12
Esferoidização ou coalescimento	13
Tratamentos térmicos calóricos: normalização	15
Tratamentos térmicos calóricos: têmpera	16
Tratamentos térmicos calóricos: revenido	24
Tratamentos térmicos calóricos: tratamentos isotérmicos	29
Austêmpera	29
Martêmpera	30
Tratamentos termoquímicos	32
Cementação	32
Nitretação	33
Cianetação	35
Carbonitretação	35
Boretação	35
Mecanismos para aumento da resistência mecânica	36
Encruamento	36



Redução do tamanho dos grãos	37
Endurecimento por precipitação	38
Considerações finais	40
Questões com comentários	41



TECNOLOGIA DE MATERIAIS

Estrategista, é com enorme prazer que estou aqui com vocês para falarmos sobre **Tecnologia de Materiais** (também conhecida como **Ciência dos Materiais**). Nesta aula veremos os principais tópicos inerentes a esse "mundo" e sua grande importância para a Engenharia e todas as suas ênfases.

Nesta aula, conduzirei nosso foco aos **Tratamentos Térmicos**, principal etapa nos processos de **fabricação** de produtos, peças e materiais e de **SUMA IMPORTÂNCIA** para sua prova!

Ao término da aula, compilei as últimas questões dos últimos anos provenientes das principais bancas que são referências no país (CESPE, CESGRANRIO, AOC, IBFC, FGV, etc)! Dessa forma, seu preparo será de alto nível para sua prova!

Como de praxe, não deixe de seguir minhas redes sociais a fim de ter acesso a conteúdo exclusivo sobre **questões comentadas em vídeo, dicas, esquemas** e **questões inéditas "tipo CESPE"**:



[profcanelas](https://www.instagram.com/profcanelas)



t.me/profcanelas



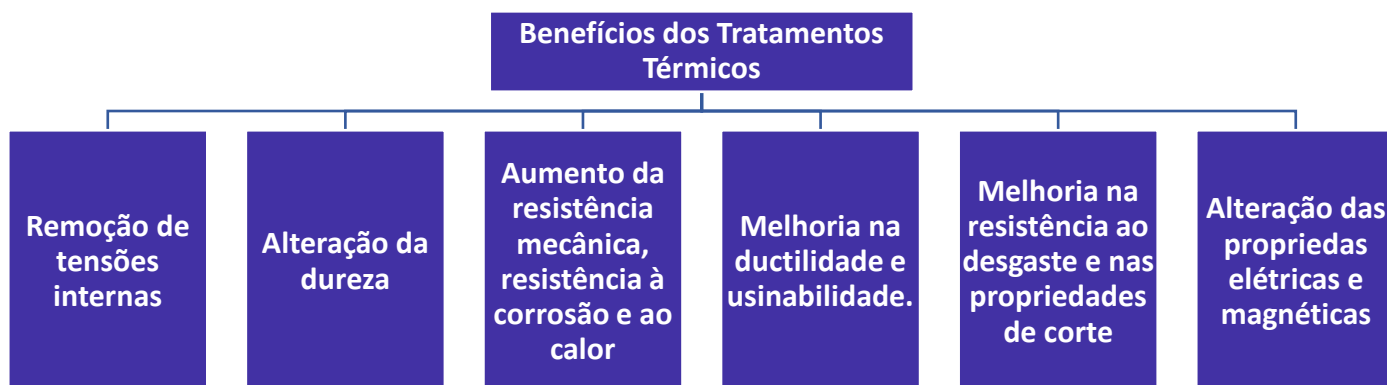
TRATAMENTOS TÉRMICOS

Estrategista, os **tratamentos térmicos** nada mais são do que um conjunto de operações pelas quais os materiais passam a fim de alterar suas **propriedades**. Essas operações de **aquecimento e de resfriamento** são efetuadas com controle de **tempo, temperatura, atmosfera e velocidade (de resfriamento)**.

Todas essas variáveis são importantes, já que, conforme o objetivo a ser atingido, variar uma ou outra, diferentes pontos da **Curva TTT** são atingidos. Nesse sentido, Coruja, conforme as peças de trabalho são produzidas (lembra dos processos de usinagem, conformação e soldagem da aula passada?), podem gerar **diversas distorções e empenamentos** nas peças finais.

A depender da atividade a qual essa peça (por exemplo, uma ferramenta metálica) será submetida, essas **tensões (distorções e empenamentos)** podem gerar desde uma avaria a uma quebra prematura da ferramenta, afetando de maneira pejorativa as **propriedades mecânicas** desse material.

Por esses motivos, os **tratamentos térmicos** surgem para **eliminar ou suavizar essas tensões e deformações** geradas. Basicamente, podemos elencar os **benefícios** dos tratamentos térmicos no esquema a seguir.



Todavia, Estrategista, não é somente submeter o material de qualquer forma e a qualquer temperatura. Existem **fatores** que vão influenciar diretamente nos **tratamentos térmicos ou termoquímicos** (vamos falar dessas duas classificações adiante.) e **como** esses fatores são aplicados e controlados.



Dessa forma, depois do trabalho a frio em determinada peça e seu **encruamento** realizado que gera tensões residuais, os tratamentos que veremos passam por **três etapas** básicas a depender do tratamento e da temperatura atingida. Nesse sentido, temos, no decorrer do tratamento, um primeiro momento de **recuperação** do grão no qual há o movimento das **discordâncias** que foram geradas pela deformação plástica no encruamento e sua energia liberada. Além disso, já na **recuperação**, algumas propriedades físicas (elétricas e térmicas) voltam ao estado original do material.

Depois, temos a **recristalização** (a depender do tratamento) na qual a principal característica é a **formação de novo conjunto de grãos livres de deformação e equiaxiais (dimensões quase iguais em todas as direções)**, como define a literatura específica¹. Muitas das propriedades mecânicas da liga acabam retornando a valores anteriores ao trabalho a frio. É claro, Coruja, que a temperatura de recristalização vai depender do material e, de acordo com a doutrina citada, costuma ser aquela na qual a recristalização dos grãos terminam em 1 hora de exposição.

Conforme a temperatura se eleva, a terceira etapa se faz presente que é a do **crescimento do grão**. Essa etapa não depende das outras e ocorre em todos os materiais policristalinos. Esse crescimento está associado ao movimento dos átomos que fazem com que os contornos dos grãos sejam alterados. Ao passo que alguns grãos crescem, outros diminuem. Dessa forma, as direções desse movimento do contorno e do movimento dos átomos são opostas entre si, com cita a doutrina menciona. Assim, grave para sua prova:

1º Recuperação / 2º Recristalização / 3º Crescimento do grão

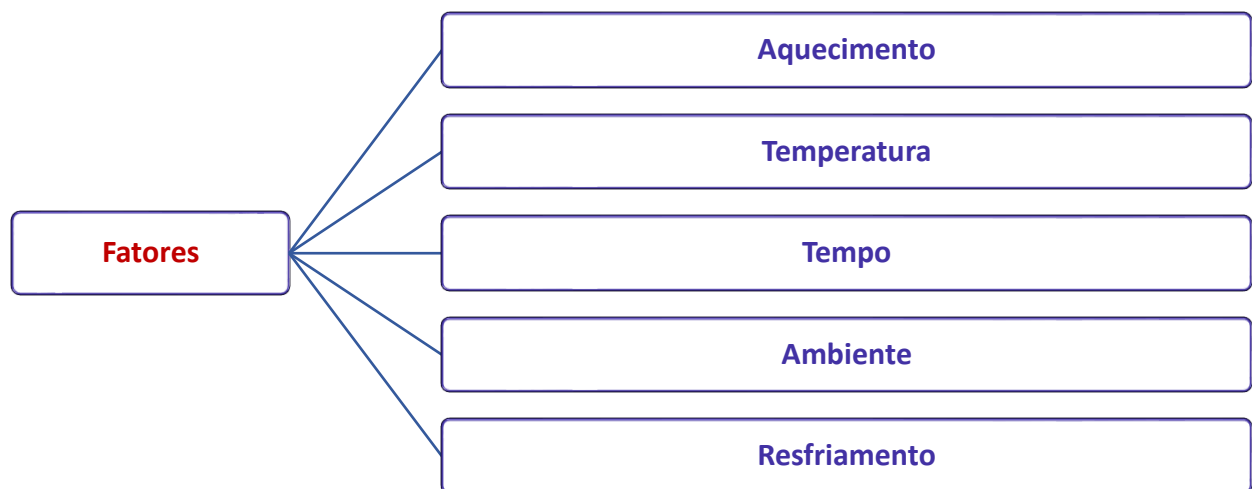
Fatores que afetam os tratamentos térmicos

Considerando os principais fatores, primeiramente, podemos agrupá-los no seguinte esquema. São **5 fatores** consagrados na literatura. (**Grave-os**, pois, a banca pode querer nos surpreender colocando ou tirando algum fator em uma pergunta direta!).



¹ Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.





Abaixo, trouxe as características de cada fator:

- **Aquecimento:** está relacionado a **como** a temperatura da peça será atingida. Normalmente, a temperatura atingida está relacionada a composição do material a fim de se atingir a **temperatura de recristalização dele**, como nos aços, a **temperatura crítica** (aquele do Diagrama TTT que já expliquei). A forma como o aquecimento é feito é importante, pois como temos diferentes elementos químicos na liga, imagine que diferentes comportamentos são esperados. Assim, aquecer um material **lentamente**, pode **aumentar o crescimento de grãos**. No contrário, **aquecer rapidamente**, pode ocasionar diferentes comportamentos físico-químicos desses grãos e **aparecer fissuras ou empenamentos** por conta das **tensões** que esse material pode ter;
- **Temperatura:** corresponde a temperatura ideal, baseada na análise do digrama de equilíbrio da liga metálica e composição dos elementos dela a fim de se atingir **temperaturas acima das de recristalização**. Essa variação da temperatura de aquecimento fica entre baixas temperaturas (próxima a do ambiente), como altas (**próxima da temperatura de fusão do material**). Perceba, Estrategista, não queremos no tratamento térmico que aja mudança de fase! Por isso, não se ultrapassa a temperatura de fusão!
- **Tempo:** também é um fator crucial, desde o fato de proporcionar uma **homogeneização da temperatura por toda a peça** (precisa de um tempo específico para que toda a peça atinja a temperatura específica do tratamento), até a influência no crescimento dos grãos. Normalmente, **maiores tempos implicam em maiores tamanhos de grãos**, nesse caso.
- **Ambiente:** consiste no controle dos elementos que fazem parte da atmosfera local. **Lembra** quando falamos nos processos de soldagem sobre a **proteção gasosa**? É o mesmo raciocínio, Estrategista! Temos em nossa atmosfera muito **oxigênio** e **gás-carbônico**, por exemplo. Dessa



forma, a **oxidação** e a **descarbonetação** são **reações químicas** que podem prejudicar a superfície do material. Surge, assim como nos processos de soldagem, a necessidade de proteger esse material. No caso, os ambientes dos **fornos** podem ser protegidos pela combustão de **carvão, óleo, hidrogênio, nitrogênio, amônia dissociada e/ou vácuo** (ausência de matéria) a depender do material e do processo. (Mais detalhes além desses foge do escopo das bancas de concurso.)

- **Resfriamento:** principal fator que vai interferir diretamente na **microestrutura do material**. Assim, variando a **velocidade do resfriamento** (atingimento de temperaturas baixas de maneira rápida ou lenta), diferentes propriedades mecânicas podem ser atingidas (maior ductilidade ou maior dureza, por exemplo) a depender da microestrutura atingida. Lembra de quando estudamos os diagramas Fe-C e os diagramas TTT? Conforme variávamos **temperatura e tempo**, diferentes **transformações** eram atingidas (martensita, bainita, perlita, etc). A **depende do material** e do **objetivo de microestrutura e propriedade** a serem atingidos, temos **diferentes meios para o resfriamento** (indo do mais severo e mais rápido, para o mais ameno e lento):

- solução aquosa de 10% de NaCl ou Na₂CO₃;
- água;
- óleos de diferentes viscosidades;
- ar;
- vácuo.

Conforme dito anteriormente, temos **2 classificações de tratamentos térmicos: calóricos e termoquímicos**.

A principal diferença entre eles é que nos **calóricos** o tratamento é baseado somente em processos que envolvam **aquecimento pelo calor, sem adição de elementos químicos**.

Nos **termoquímicos**, além de ser fornecido calor, também se tem a **inclusão de elementos químicos** específicos na **superfície** do aço. Esses tratamentos térmicos são estudados com grande ênfase em **aços** (foco da banca).





Dentro do escopo dos **tratamentos térmicos**, Estrategista, há **6 tipos de tratamentos** que são do grupo **calórico** (como vimos acima) e muito disseminados na literatura. São eles: **Recozimento, Normalização, Têmpera, Revenido, Isotérmicos e Endurecimento por Precipitação**.

Já dentro do grupo de tratamentos térmicos **termoquímicos**, existem **5 grandes grupos de tratamentos** na literatura. São eles: **Cementação, Nitretação, Cianetação, Carbonitretação e Boretção**.

Todavia, é possível termos outras denominações dentro de cada tipo de tratamento térmico. Antes de adentrarmos nas especificações de cada um, veja o esquema a seguir para que você memorize cada denominação para cada grupo:



Estrategista, cada tratamento térmico possui especificidades e detalhes que veremos a seguir. Grave esse esquema a fim de “esbarrar” por uma eventual pergunta direta, que cobre somente denominações, após uma descrição do tipo.



Começaremos com os **tratamentos térmicos calóricos**, com o primeiro tipo MUITO explorado pelas bancas: **Recozimento**! Vamos, lá! “Sangue nos zóio”, essa vaga é sua!

Tratamentos térmicos calóricos: recozimento

O tratamento de **recozimento** possui como principais **objetivos: eliminação de tensões** provenientes, por exemplo, da **conformação** do material ou algum **tratamento térmico anterior** que gerou algum tipo de efeito indesejável à peça.

Nesse sentido, também faz parte dos **objetivos** do **recozimento** a **diminuição da dureza do material, aumento da ductilidade**, bem como procurar **ajustar o tamanho dos grãos** que já sofreram com alguma deformação (processos de fabricação, como a laminação, por exemplo, tensões internas que ficam depois do processo precisam ser eliminadas, se não, a depender do serviço, aquela peça pode apresentar uma fratura e um risco posterior).

Dentro dos tratamentos térmicos calóricos por **recozimento**, temos ainda **4 subdivisões** mais específicas (**Total ou Pleno, em Caixa, Alívio de Tensões e Esferoidização ou Coalescimento**) e que vão depender do tipo de aplicação do material em serviço. Vamos, lá, Estrategista! Foco!

Recozimento total ou pleno

Nesse tipo, a temperatura de aquecimento fica **acima** da **temperatura de recristalização** daquela liga específica (seria a zona crítica dos aços, liga Fe-C, conforme vimos na primeira parte da aula). Outra característica desse tipo é o **resfriamento lento** que ocorre **dentro de um alto forno**, gerando **propriedades mecânicas uniformes em toda a peça**.

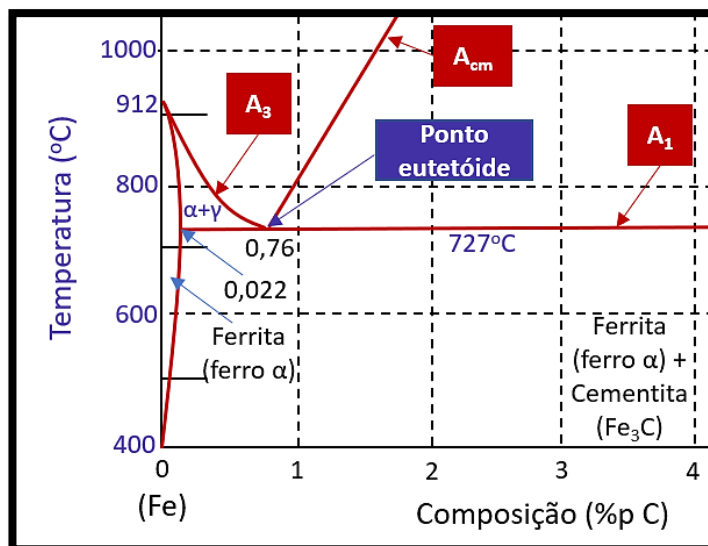
Além disso, ele é muito **utilizado em outras ligas** com base de **cobre, alumínio, magnésio, níquel, titânio**, dentre outras.

Nas ligas Fe-C, as estruturas finais são:

- **ferrita mais perlita grosseira**, se for uma liga **hipoeutetoide**;
- **perlita grosseira mais cementita**, se for uma liga **hipereutetoide**;
- **somente perlita**, se for uma liga **eutetoide**.

Veja o esquema do nosso diagrama que recortei. Nele, teremos uma temperatura de **recozimento pleno** para ligas **hipoeutetoides** cerca de **50°C acima** do **limite superior da zona crítica (A₃)**, ao passo que para ligas **hipereutetoides** acima do **limite inferior da zona crítica (A₁)**. Relembre na ilustração:

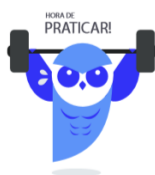




2

Aqui, ainda cabe mencionar, Coruja, duas designações, uma para a **ferrita** e outra para a **cementita** que não fazem parte da **perlita**. Oras, a **ferrita** que começa a se formar no resfriamento entre os grãos austeníticos e antes da temperatura eutetoide recebe o nome de **ferrita proeutetoide** nos aços hipoeutetóides e a **cementita** que começa a se formar nos aços hipereutetóides no resfriamento antes da temperatura eutetoide recebe o nome de **cementita proeutetoide**. Já as ferrita e cementita da perlita recebem o nome de **ferrita e cementita eutetoide**. Só denominação, Coruja, sem “stress” nisso aí. Rs.

▪ Ainda podemos ter dentro do escopo do **recozimento pleno**, a **classificação isotérmico ou cíclico**, que nada mais é que do que uma classificação para designar um **resfriamento em duas etapas**: **uma rápida** até uma temperatura na parte superior do diagrama de transformação **isotérmica** (na mesma temperatura até **a austenita se transformar em produtos normais de sua transformação**) e a outra até a temperatura ambiente. Veja uma curva de resfriamento desse processo.



(CESPE/Mecânica)

Com relação às propriedades e às características dos aços estruturais, é correto afirmar que

² Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwisch, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



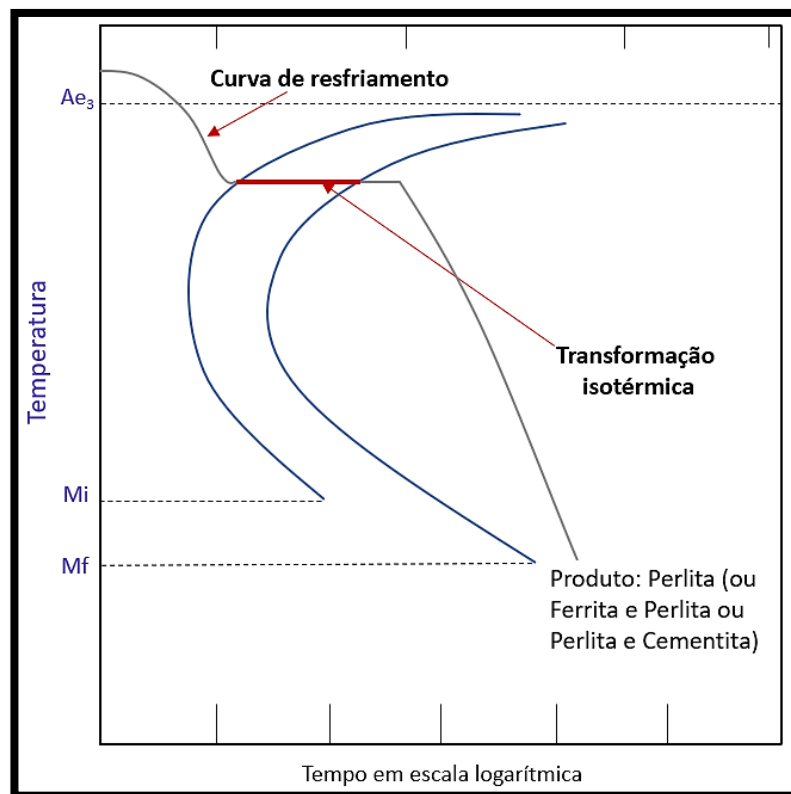
o processo de recozimento de uma chapa de aço estrutural, que reduz a dureza do aço e aumenta sua ductilidade, pode ser realizado após a conformação mecânica por laminação, com o intuito de aliviar as tensões internas da referida chapa.

() Certo () Errado.

Comentário:

Oras, Estrategista, conforme vimos, o processo de recozimento visa justamente aliviar as tensões geradas pelo encruamento do material, reduzindo a dureza e aumentando a ductilidade. Correta!.

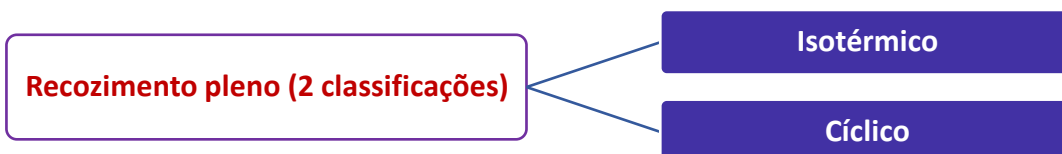
Gabarito: correto.



3

³ Adaptado de Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.





Recozimento em Caixa

Nesse tipo, associe sempre o termo **caixa** com **atmosfera protetora** (novamente, lembre-se dela da aula de Soldagem. É o mesmo princípio). Nesse tipo de **recozimento**, a “caixa” tem como objetivo **proteger** a superfície do material da **oxidação** proveniente das reações com a atmosfera dentro do forno. Normalmente, as temperaturas variam entre **600°C e 700°C**.

Recozimento para alívio de tensões (ou subcrítico)

Esse é um tipo de recozimento **mais brando** no qual **não se atinge a temperatura de recristalização do material** (da liga, especificamente). Justamente depois das operações de **conformação e usinagem** (conforme vimos em outras aulas), surgem **tensões** que podem vir a gerar problemas desde de desgastes acentuados até a fraturas quando em serviço. Desse modo, surge esse tipo de recozimento a fim de eliminá-las.

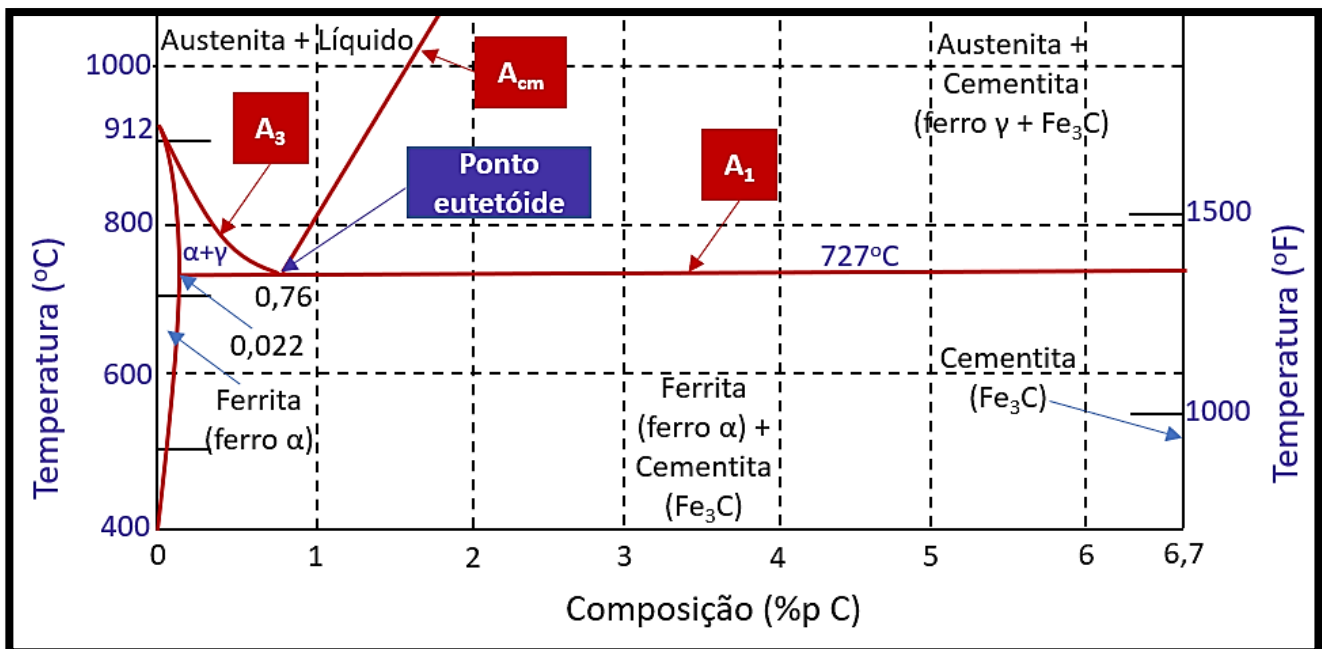
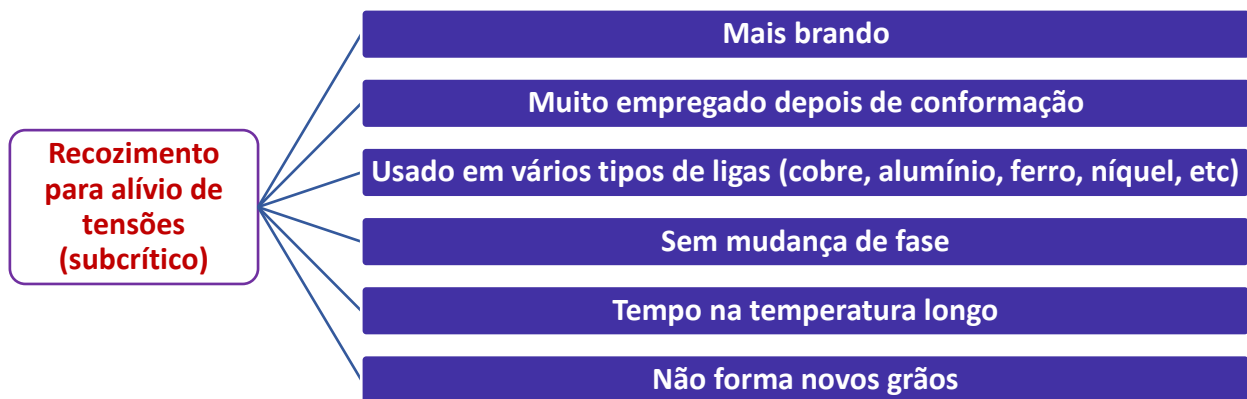
Saiba também, Estrategista, que esse tipo é amplamente usado em várias ligas; **cobre, alumínio, ferro, níquel, magnésio**, dentre outras.

Uma **característica** importante é que nesse tipo **não ocorre mudança de fase**, sendo o material aquecido até a **zona crítica “A₁”** do diagrama de fases da liga. Dessa forma, a liga metálica **não chega** ao campo **austenítico**.

Lembra do nosso diagrama Fe-C? Veja que marquei nele a linha **A₁** e a temperatura pela qual não pode ser superada no **Recozimento para Alívio de Tensões ou Subcrítico** (justamente recebe essa outra denominação por conta de a temperatura ser abaixo da crítica).

Outras **duas características** que você precisa levar para sua prova é que nesse tipo **o tempo na temperatura é longo** e que **não se formam novos grãos**.





4

Esferoidização ou coalescimento

Nesse tipo de recozimento, Estrategista, o **principal objetivo** é **reduzir a dureza do material** e, assim, **aumentar a usinabilidade** dele. Esse objetivo é justamente alcançável por conta do desenvolvimento da **microestrutura "esferoidita"** que dá uma das denominações do processo. Dessa forma, esse tipo de recozimento é muito utilizado em **aços alto carbono** (vimos que uma das característica da liga com alto teor de carbono é a elevada dureza, certo?).

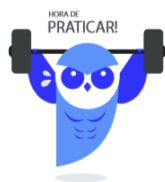
⁴ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwisch, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



Basicamente, quanto maior a temperatura no campo austenítico, Coruja, maior a chance dos seus grãos se tornearem **homogêneos** (ou seja, na nucleação, os grãos austeníticos têm menos carbonetos residuais, pois os carbonetos se dissolveram). Assim, a estrutura perlítica tende a ser mais lamelar (formada pelas lamelas de ferrita e cementita no final do resfriamento). Todavia, caso a austenita seja **heterogênea** (com **carbonetos residuais** em áreas ricas em carbono na microestrutura), esses núcleos de carbonetos não dissolvidos impactam na formação da perlita, fazendo com que a transformação seja **acelerada** e tendendo a ter uma forma "globulizada" (esferoidal) em detrimento a forma lamelar.

O aço é submetido, por meio desse tipo de tratamento térmico por recozimento, a uma **temperatura** também **abaixo da linha A₁, por um tempo longo** ou, normalmente, se faz com que a **temperatura oscile em torno da mesma linha** (hora acima, hora abaixo).

Vamos resolver uma questão que cobrou esse assunto!



(FCC/ Mecânica)

Um tratamento térmico de coalescimento aplicado ao aço visa

- a) aumentar a dureza superficial.
- b) diminuir a capacidade de alongamento do material.
- c) reduzir a dureza.
- d) dificultar a estampabilidade ou deformabilidade do material.
- e) aumentar a resistência mecânica do material.

Comentário:

Letra "a": essa alternativa vai de encontro com o que estudamos. É justamente o contrário. O objetivo principal desse tratamento é **reduzir** a dureza do aço. Alternativa errada.

Letra "b": conforme mencionado na explicação da alternativa "a", não é esse um dos objetivo do tratamento.

Letra "c": de acordo com o que vimos, um dos principais objetivos do tratamento de **coalescimento** é **diminuir a dureza do material** pela formação de uma microestrutura "esferoidita" e, assim, **melhorar a usinabilidade** de aços alto carbono, por exemplo. Alternativa correta.



Letra “d”: pelo contrário, Estrategista, se o objetivo é atingir **menor dureza** no aço, teremos uma **melhora na estampabilidade e deformabilidade**, facilitando processos de **usinabilidade** desse material. Alternativa errada.

Letra “e”: conforme vimos em aula, resistência mecânica é um conceito amplo e complexo. Ao meu ver, a alternativa é infeliz em definir como errado “**aumentar a resistência mecânica**”, já que reduzir a dureza, não necessariamente implica em baixa “resistência mecânica” – o material pode ter sua **ductilidade aumentada** e para certos objetivos e atividades, **ser mais resistente que um aço mais duro**. Porém, como vimos, esse aço duro pode ser mais frágil (dureza e fragilidade são conceitos diferentes). Todavia, segundo o gabarito da questão, a alternativa está errada.

Gabarito: “c”.

ESCLARECENDO!



Alguns autores colocam o **Coalescimento/Esferoidização** como um **tratamento térmico calórico a parte do recozimento**. **Outros, dentro do grupo de recozimento**. O que fazer? Considere ambos! Infelizmente, temos essas discrepâncias na literatura. Para sua prova, não ache que está errada uma questão caso ela trate como um tratamento **a parte ou como um tipo de recozimento**. Ok? Bora pra frente!

Tratamentos térmicos calóricos: normalização

Os **objetivos** da normalização são justamente **parecidos** com do recozimento (remover tensões, reduzir dureza, aumentar a ductilidade, entre outros já mencionados). Todavia, na normalização há a **busca** por tornar os **grãos mais finos** depois do resfriamento.

Por conta disso, o resfriamento no tratamento calórico de normalização, **necessariamente**, será **mais rápido** e, por conta disso, atinge-se uma **microestrutura mais fina**. Isso ocorre, Estrategista, porque o grão não teve tempo de crescer em alta temperatura quando aquecido. As temperaturas na normalização são atingidas logo acima da linha **A_{cm}** para os aços **hiperutetoides** e logo acima da linha **A₃** para os aços **hipoeutetoides**.

Nesse sentido, o tipo de **microestrutura** é a mesma que nos tratamentos de recozimento, porém são finas, como a **perlita fina** (lembra da perlita da seção anterior? É constituída por uma mistura eutetoide de duas fases, ferrita e cementita a 723°C/727°C e composição de 0,77%/0,8%, em valores aproximados. Sempre bom lembrar, né, Corujinha?).



Esse tratamento é muito aplicado em **aços** (ligas Fe-C com até **2%** de carbono – mas um detalhe para recordar, rs). Pode ser utilizada a **normalização** como um **tratamento anterior** à **têmpera e o revenido**, já que sua **microestrutura é mais homogênea e reduz a probabilidade de empenamento**.

Além disso, na **normalização plena**, dependendo da geometria da peça, o **resfriamento não é uniforme**, o que resulta em propriedades mecânicas diferentes em toda a peça, já que, diferente do **recozimento pleno**, ela não é feita em uma ambiente controlado do **alto forno**.

Tratamentos térmicos calóricos: têmpera

Na têmpera, Estrategista, a **velocidade de resfriamento** é **muito rápida** (mais rápida do que na normalização). Essa é a primeira característica que você precisa levar para sua prova. Para esse resfriamento brusco, normalmente se utiliza um meio contendo desde **água, salmoura, ar e óleo** a alguma composição específica de **sais**.



Normalmente, o resfriamento de aço que contém somente carbono e sem outros elementos de liga, utiliza-se água ou óleo. Todavia, se **contiver outro elemento na liga**, utiliza-se **banho de sais (salmoura)** ou até mesmo **ar**.

Outras características importantes que você precisa guardar é que além de serem atingidas **temperaturas semelhantes às temperaturas de recozimento e normalização**, a **têmpera** confere uma **elevada dureza** pelas **modificações muito agressivas que o aço sofre em sua microestrutura**.

Por conta dessas modificações radicais, além da dureza extremamente elevada, também teremos **alta resistência à tração**, ao passo que, **a ductilidade** será **extremamente reduzida**.

Dessa forma, por conta dessas modificações nas propriedades mecânicas do material, depois do tratamento de têmpera, é empregado o tratamento de **revenido** (falaremos dele a seguir), cujo objetivo é justamente diminuir as **tensões** internas **elevadas da têmpera**, por conta da velocidade de resfriamento extremamente alta.



Falou em **têmpera**, falou em resfriamento **muito rápido**, **elevada dureza**, **elevada resistência à tração** e **baixíssima ductilidade**. Além disso, Coruja, saiba que em **aços com elevado teor de carbono**, por conta desse resfriamento brusco, há a possibilidade de ocorrerem trincas e empenamentos!

Quando falamos mais especificamente em ligas Fe-C (grande protagonista das provas), no tratamento de **têmpera**, o principal objetivo é atingir a microestrutura **martensítica (microestrutura monofásica e metaestável)**.

É justamente por essa microestrutura que o aço vai apresentar a tal da **elevada dureza** e **resistência à tração**. Por conta disso, esse aço é muito utilizado na **construção mecânica**. São os famosos **aços temperados**, que tenho certeza que você já ouviu falar!



Por conta da elevada dureza e baixíssima ductilidade, esse aço depois da têmpera apresenta **alta fragilidade**!

Falando em termos mais práticos, Coruja, teremos algumas peculiaridades na **têmpera** de aços **hipoeutetoides** (aços com concentrações entre 0,22% a 0,77% de C) e **hipereutetoides** (aços com concentrações entre 0,77% a 2,14% de C). Normalmente, aquece-se o aço a uma **temperatura** de **50°C** acima da **zona crítica** de cada tipo de aço. Por exemplo, nos **hipoeutetoides**, aquece-se **50°C** acima da linha **A₁**. Veja abaixo, Estrategista, mesmo com a figura sendo de difícil visualização, conseguimos ter uma ideia do “jeitão” de cada microestrutura para cada concentração de carbono e temperatura.

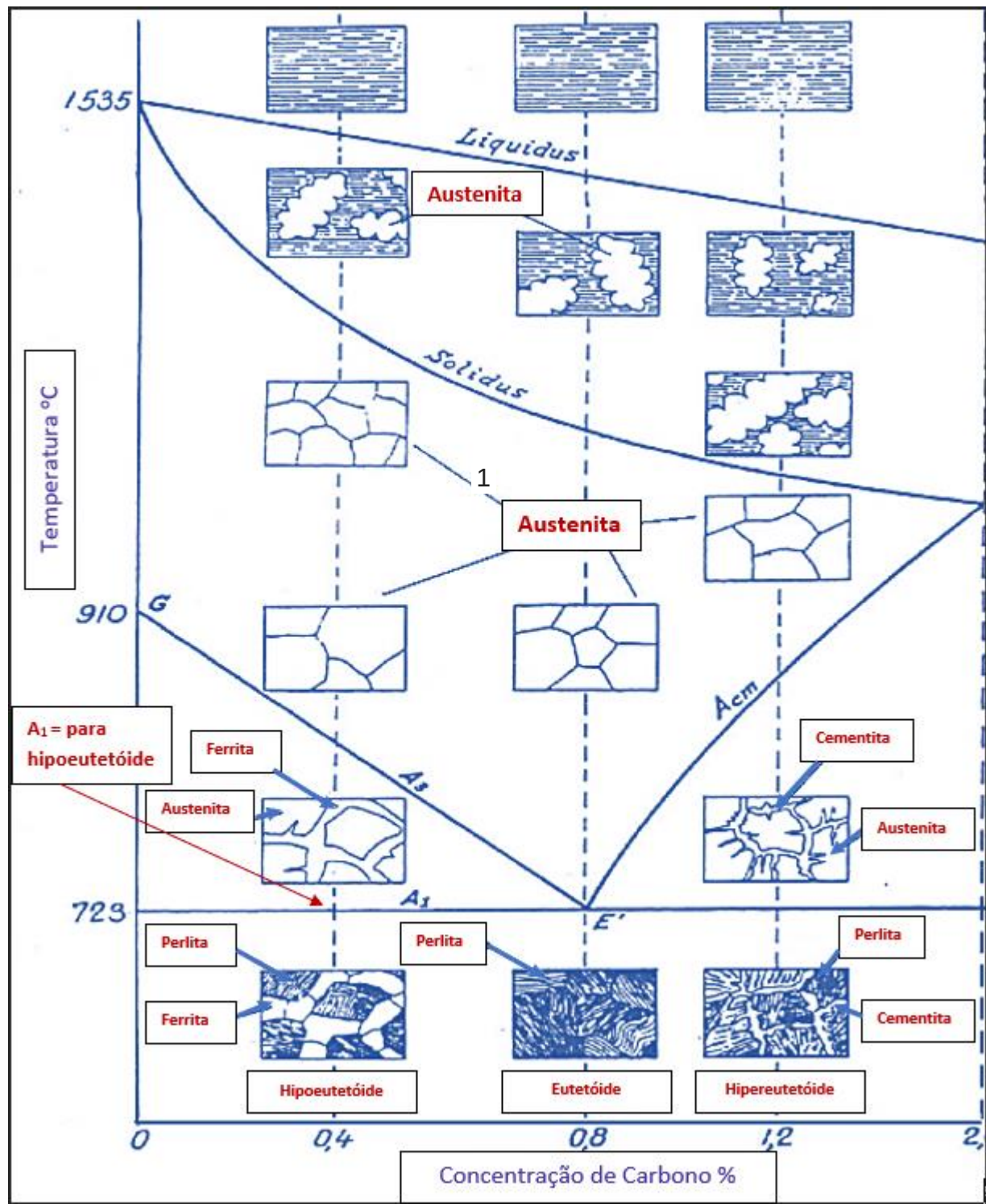


Coruja, lembra quando eu disse que teremos um **resfriamento brusco** no tratamento de **têmpera**? Saiba que temos diferentes **meios** nos quais o material pode ser resfriado. Dessa forma, como aponta a literatura específica, memorize a composição do meio do **grau menos severo** (resfriamento lento) para o meio com **grau mais severo** (ou seja, resfriamento mais rápido):



Vácuo;	Grau de severidade no resfriamento
Ar;	
Óleos de várias viscosidades;	
Água;	
Solução aquosa a 10% de NaCl, NaOH ou Na ₂ CO ₃	





⁵ Adaptado de Buchert, C.O.F.T. Introdução a Ciências dos Materiais. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena, Departamento de Engenharia de Materiais.

Já para os aços **hipereutetoides**, **não há necessidade** de serem aquecidos acima da linha A_{cm} (mostrada no gráfico para concentrações de C acima de 0,76%). Isso se dá ao fato de que depois do **rápido resfriamento**, a microestrutura **martensítica** resultante terá **carbonetos secundário** que não foram dissolvidos. A presença dos **carbonetos** influencia positivamente na dureza (a presença de carbono, como vimos na primeira seção da aula é que confere essa característica ao material).

Assim, as partículas de **carbonetos secundários** só vão facilitar o objetivo da têmpera conforme se atinja a microestrutura **martensítica**. Essa **dureza** elevada que já mencionei se dá justamente pela **configuração do retículo cristalino** em **cúbico de corpo centrado** do *ferro α* (lembra dele?) que **não permite a solubilidade do carbono**.

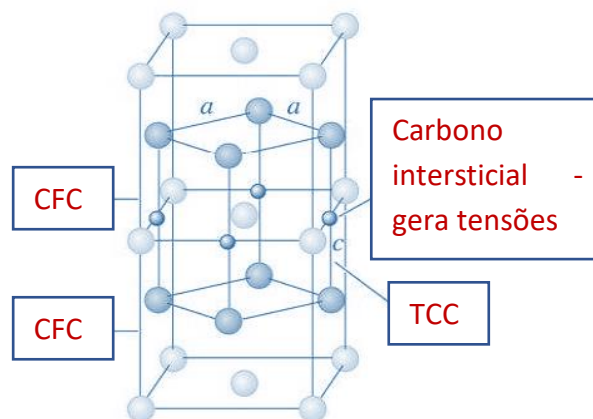
Esse **carbono** fica alojado fazendo **parte da microestrutura da martensita**, já que o resfriamento rápido não permitiu que o carbono se separasse totalmente, ficando entre os espaços do cubo de corpo centrado (CCC) do *ferro α* .

“Tá, e daí? O que você quis dizer, Professor?” O que eu quero dizer é que esse carbono que é proveniente do *ferro γ* (este possui outra configuração, Cúbica de Face Centrada – CFC -, lembra?) e que outrora permitia que o mesmo carbono ficasse dissolvido, sofreu a **transformação alotrópica** para o *ferro α* . Porém, como eu disse, o carbono em excesso não é solúvel no *ferro α* por conta do retículo cristalino CCC dele.

É justamente esse **carbono** que vai constituir essa **microestrutura martensítica** (metaestável) responsável pela **elevada dureza** e, também, por ocasionar **todas as tensões internas** que precisam ser aliviadas. É assim que surge, Estrategista, o **tratamento de revenido** a fim de reduzi-las, após a têmpera descrita acima. Antes, você sabe o porquê da **martensita** ter essas características? Por causa da fase metaestável e monofásica (TCC – Tetragonal de Corpo Centrado) que surge entre os arranjos das células unitárias CFC da austenita. Veja a figura⁶ a seguir para você visualizar:

⁶ Adaptado de CANALE, L.; Transformações de Fases em Metais e Microestruturas. Engenharia e Ciências dos Materiais I, 2017.





Assim, essa microestrutura martensítica, monofásica e fora de equilíbrio, compete com as microestruturas perlita e bainita, sendo metaestável e, a depender da difusão do carbono retido da figura, ocorrerá a formação da fase ferrita ou cementita (que já vimos). A fim de reduzir essas tensões, se aplica, como mencionei, o **revenido**.

Antes de vermos esse novo processo (revenido), saiba, Coruja, que também temos um tipo de têmpera denominada de **têmpera superficial**. Esse tratamento consiste na obtenção de uma têmpera **localizada**, de forma que fique apenas na superfície da peça. A **têmpera superficial** pode ser feita por diferentes processos, tais como: **têmpera por chama; por indução; por raios laser; por raios eletrônicos e por resistência elétrica de alta frequência**.

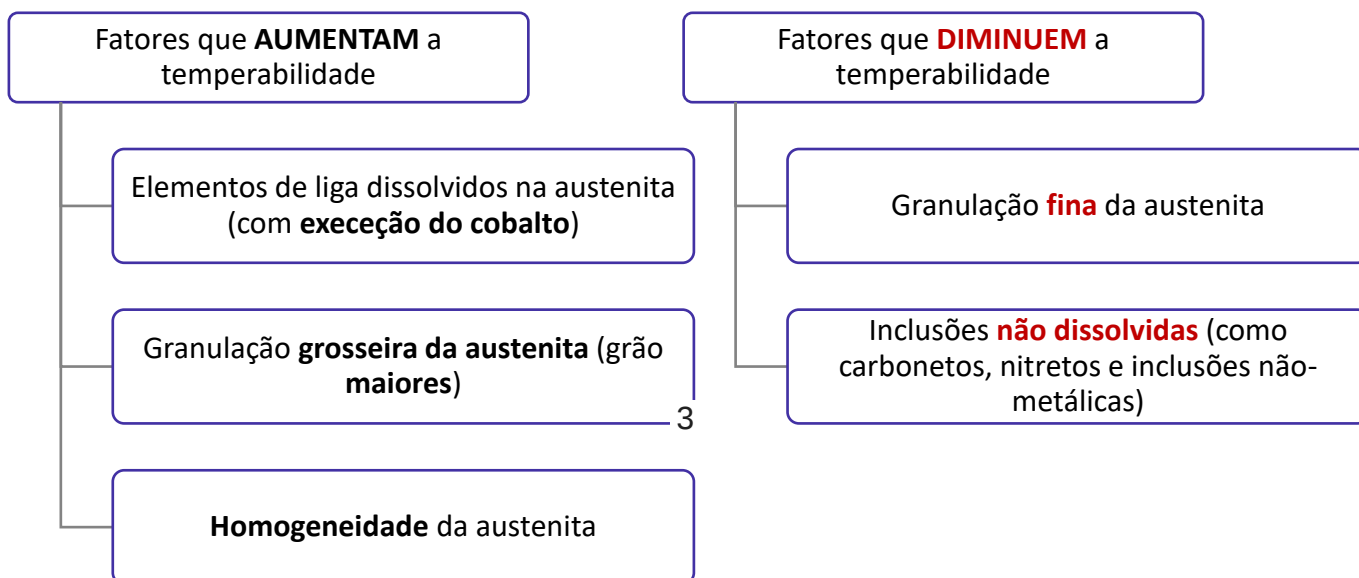
Antes de vermos o **revenido** (próximo tratamento), convém a gente mencionar alguns detalhes sobre a **temperabilidade** dos aços, Coruja. Tranquilo! Temperabilidade nada mais é que a **capacidade do aço em atingir a microestrutura martensítica**. Ou seja, pode ser entendida como o quão fácil é, no resfriamento a partir do campo austenítico (fase gama ou ferro γ , que vimos) ele ter início na transformação martensítica e terminar sem cruzar o "C" da curva TTT (e, assim, não formar microestrutura perlítica).

Além desses conceitos, a **temperabilidade** também tem relação com o atingimento da máxima tenacidade do aço para dada microestrutura.



Aqui, atenção, Coruja! A temperabilidade é a capacidade do aço de endurecer até uma certa profundidade e **não** de atingir um máximo valor de dureza (máxima dureza tem relação com o teor de carbono do aço)! Além disso, saiba que a temperabilidade pode ser medida pelo método de Grossman e pelo método Jominy!

Indo adiante, Coruja, temos que saber alguns **fatores** que influenciam a **temperabilidade** do aço durante tratamentos térmicos (principalmente, na têmpera). De acordo com a doutrina⁷, temos fatores que irão **diminuir** a temperabilidade e fatores que irão **aumentá-la**. Veja o esquema a seguir:



Coruja, em relação aos **elementos de liga** (como níquel, alumínio e silício, por exemplo) impactam e aumentam a temperabilidade, pois deslocam a curva TTT que vimos para a **direita** pelo fato de alguns elementos continuarão dissolvidos na ferrita e outros na forma de carbonetos.

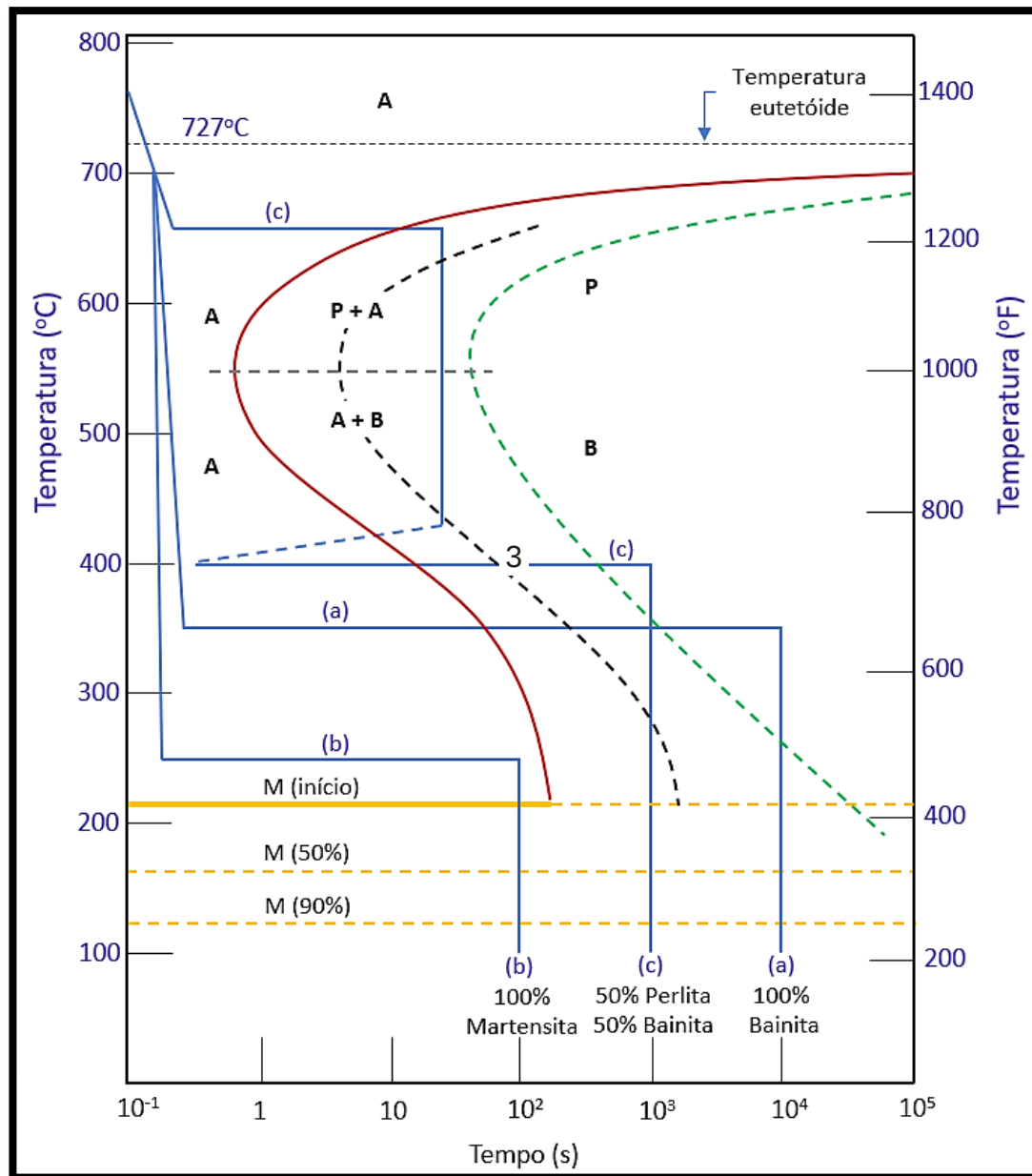
Todavia, para ambas situações as reações **demandam tempo e atrasam** o início e o fim da transformação austenítica. Assim, temos uma temperabilidade maior, pois a martensita não precisa ser atingida com uma velocidade de resfriamento muito elevada (esses elementos diminuem essa velocidade). A única exceção é o **cobalto** (grave isso!).

O tamanho do **grão da austenita** também influencia, Coruja, deslocando a curva TTT para direita e atrasando a transformação dessa fase em perlita (e, assim, facilitando a formação da martensita).

Isso ocorre, pois a perlita começa a se formar nos contornos do grão austenítico e, **quanto maior esse grão, mais tempo para a transformação**. Nesse sentido, Consequentemente, os aços cujo tamanhos de grãos austeníticos são grandes, tendem a apresentar uma microestrutura final **martensítica** (que possui **elevada tensão e menor tenacidade**, por conta do carbono intersticial que não se desprende e deixou a microestrutura mais dura e mais frágil). Coruja, sinto que é pertinente colocar, novamente uma curva TTT abaixo para você não ficar rodando o *pdf* e perder tempo. Veja de novo:

⁷ CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. 7ª edição. São Paulo, 2005.





8

Lembra dessa figura que vimos em outra seção? Pois bem. "Deslocar ela para a **direita**" é pegar o "C" da curva e suas respectivas transformações de microestruturas que temos (perlita, bainita, etc) e jogar à direita (de quem lê esse pdf) desse gráfico. Ou seja, atrasando qualquer começo de transformação dessas estruturas conforme o resfriamento do aço é feito a partir do campo austenítico. Pegou o "bizu"? Por isso, que **facilita a formação da martensita** e, consequentemente, **umenta** a temperabilidade do aço, com tendência de perda de tenacidade.

Por fim, quando falamos em **homogeneidade do grão austenítico** quer dizer que quanto **menos** tiver **carbonetos residuais**, mais demorada é a formação da perlita (o que, novamente, facilita a formação da

⁸ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.



martensita). Isso ocorre porque esses carbonetos residuais e áreas ricas em carbono servem de núcleos de formação da perlita (lembre-se que ela é constituída por cementita e ferrita, certo?).

Coruja, para fecharmos e irmos para o **revenido** ("nossa, até que enfim, professor" rs) convém você conhecer o quadro⁹ a seguir que mostra algumas **tendências** nos aços temperados em relação ao grão (grosso ou fino) austenítico. Já foi objeto de prova essas propriedades. Veja:

Propriedade	Tendências nos aços temperados	
	Aços de Austenita Grosseira	Aços de Austenita Fina
Endurecibilidade	Endurecimento mais profundo	Endurecimento menos profundo
Tenacidade à mesma dureza	Menos tenazes	Mais tenazes
Empenamento	⁹ Maior	Menor
Fissuras de têmpera	Mais frequentes	Geralmente ausentes
Fissuras de retificação	Mais susceptíveis	Menos susceptíveis
Tensões residuais	Maiores	Menores
Austenita retida	Mais	Menos
Para aços que foram recozidos e normalizados:		
Usinabilidade	(Desbaste) melhor	(Desbaste) inferior
Usinabilidade (casos especiais)	Acabamento fino inferior	Acabamento fino superior
Trabalhabilidade (casos especiais)	Superior	Inferior

Tratamentos térmicos calóricos: revenido

Conforme dito anteriormente, Estrategista, o **revenido** consiste no tratamento feito **depois da têmpera**. Nesse tratamento térmico do tipo calórico, o **aço temperado** é submetido a **temperaturas** abaixo da **zona crítica**. Dessa forma, como consequência desse tratamento **posterior à têmpera**, ocorre um

⁹ CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos. 7ª edição. São Paulo, 2005.



aumento na **ductilidade** tão reduzida na têmpera anterior e **há redução da dureza e resistência a tração**. Além disso, **o principal objetivo é reduzir as tensões internas** provenientes da **têmpera**.

ESCLARECENDO!



Se liga nesse “bizu”, Estrategista: os tratamentos de **têmpera e revenido** estão **associados, SEMPRE!**

Normalmente, o **revenido** é realizado **imediatamente** após ao **tratamento de têmpera**, e as temperaturas utilizadas **não ficam até a proximidade da linha A1**.

Todavia, o que você precisa ter em mente é o seguinte: a **depender do objetivo do projeto**, a escolha da temperatura para o revenido será crucial, já que para **cada faixa de temperatura**, teremos **específicas mudanças na microestrutura** e, conseqüentemente, **mudanças nas propriedades**.

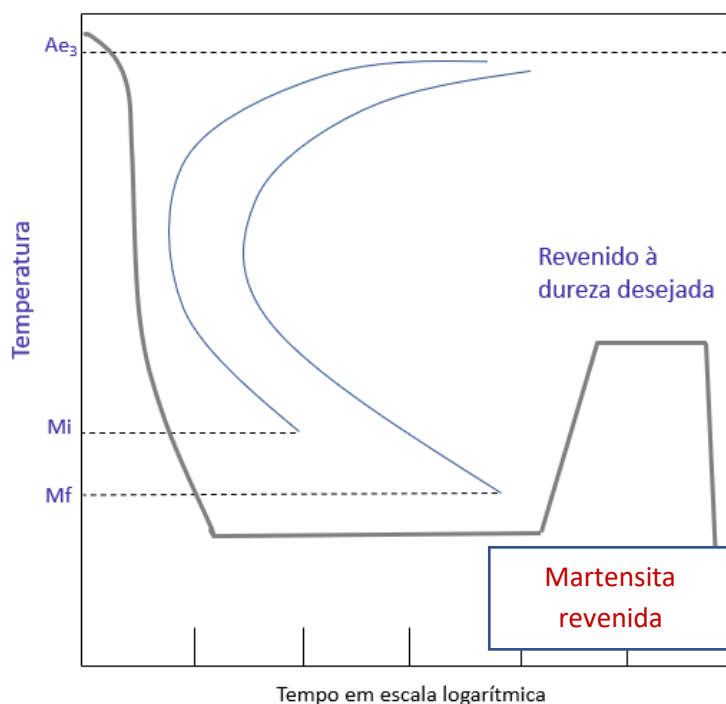
Dessa forma, acho interessante pontuarmos essas mudanças para cada faixa:

- **de 100°C até 250°C (ou Primeiro Estágio):** nessa faixa ocorre a precipitação de um carboneto de ferro (falamos dele na têmpera) de reticulado hexagonal, fazendo que a **dureza caia e fique em torno de 60 Rockwell C** (lembra dessa escala de dureza que já comentamos?);
- **de 200°C até 300°C (ou Segundo Estágio):** nessa faixa também continua a cair a dureza e, para **aços médio e alto carbono** começa a surgir a microestrutura **bainita** proveniente de alguma **austenita** retida no tratamento de têmpera;
- **de 250°C até 350°C (ou Terceiro Estágio):** nessa faixa a dureza continua a cair e em **aços alto carbono** percebe-se a formação de uma microestrutura cujo nome já não se utiliza mais (troostila, vai que a banca queira te pegar, né?);
- **de 400°C até 600°C:** nessa faixa temos o começo da “esferoidização” do carbonetos na estrutura da ferrita fina e acicular, além de uma dureza Rockwell C entre 25 e 45. Essas estruturas recebem o nome de “**sorbíticas**”;



- **de 600°C até 700°C:** nessa faixa começa a **recristalização** e o **crescimento de grão** de formato esferoidal (da cementita proveniente dos carbonetos precipitados) que nos aços carbono vão dar origem a um outro processo **denominado “Coalescimento ou Esferoidização”** (um tipo de recozimento já tratado na seção anterior). A dureza na escala Rockwell C fica na faixa de 5 a 20.

Além desses pontos, é importante você entender como é a curva do tratamento de têmpera seguido do revenido, Coruja. Veja na figura¹⁰ a seguir o **revenido** sendo aplicado posterior à **têmpera** a fim de atingir a **microestrutura mertensítica revenida**.



ESCLARECENDO!



Por conta dessa característica do **revenido**, Coruja, saiba que ele é o **tratamento térmico** que **não sofre influência da curva TTT** e suas transformações de microestrutura! Veja na figura que ele é feito posteriormente a martensita já formada!

¹⁰ Adaptado de Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.

Quero que você perceba, Estrategista, como é importante termos em mente o **impacto** que causa tanto a **presença** de certos elementos de liga na **microestrutura**, quanto a **temperatura** associada ao tempo. Saiba que conforme **aumentamos a temperatura**, vamos tendo uma **redução** na **dureza**. Consequentemente, temos um **aumento** na **ductilidade** do material e uma **redução** na **fragilidade** (temos um material **mais resistência ao choque!**).

Coruja, antes de passarmos para a próxima seção e estudarmos sobre os tratamentos isotérmicos, é válido termos em mente algumas **temperaturas de recristalização** de alguns materiais. Esse tipo de cobrança, apesar de não ser muito comum, já apareceu em prova como na questão que veremos a seguir. Dê uma olhada, Estrategista:

Temperatura de Recristalização	
Material	Temperatura
Cobre Eletrolítico (99,99%)	121
Cu - 5% Zn	315
Cu - 5% Al	288
Cu- 2% Be	371
Alumínio Eletrolítico (99,99%)	279
Alumínio (99%)	288
Ligas de Alumínio	315
Níquel (99,99%)	571
Monel (Ni - Cu)	593
Ligas de Magnésio	252
Ferro Eletrolítico	398
Aço de Baixo Carbono	538
Zinco	10
Chumbo	-4
Estanho	-44

11

Normalmente, a temperatura de recristalização de um material costuma ser determinada dentro do **intervalo de $0,3.T_f$ e $0,5.T_f$** (na qual, T_f é a **temperatura de fusão desse material a ser analisado**), considerando o tempo de **1 hora nessas temperaturas**.

¹¹ Adaptado de Centro de Informações Metal Mecânica, em: <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6473-processos-de-recuperacao-e-recristizacao#.XmvA9qhKiUI>. Acesso em: 20/02/2020.



De acordo com Callister e Rethwisch (2012), alguns valores são apresentados em sua obra um pouco diferentes da tabela cima da CIMM (2020). Isso demonstra justamente a diferença de abordagem da literatura.

Minha sugestão: considere a tabela do CIMM, pois já foi alvo de prova, mas **saiba** a fórmula supracitada (intervalo de 30 a 50% da temperatura de fusão do material) caso o examinador vá por esse caminho, certo?

Nesse sentido, apesar da literatura aceitar as regras da temperatura de fusão, Coruja, ela não é exata (portanto, sugiro ter mente a tabela que mencionei acima). Vamos ver como esse assunto já foi cobrado em prova.



(Cesgranrio/Mecânica)

Em uma fábrica, um engenheiro precisa que uma chapa de níquel comercialmente puro seja laminada na temperatura mais alta possível, sem que ocorra recristalização, porém, em uma temperatura na qual a plasticidade seja adequada. Considerando que o níquel funde a 1455°C, a temperatura mais adequada, em °C, para esse processo é de

- a) 250.
- b) 350.
- c) 450.
- d) 550.
- e) 650.

Comentário:

Estrategista, conforme mencionei na parte teórica da aula, essa é uma questão que utilizou a tabela da CIMM! Perceba que ele quer a temperatura que seja até o **limite (mais alta possível)** sem que ocorra a **recristalização** do material.

Percebemos que, pela tabela mencionada, temos, para o **níquel puro (99,99%)**, a temperatura de **571°C**. Portanto, a temperatura máxima fornecida pelas alternativas é de **550 °C**.

Gabarito: d.

Sigamos em frente! Agora, vamos ver os **Tratamentos Isotérmicos!**



Tratamentos térmicos calóricos: tratamentos isotérmicos

Estrategista, a primeira coisa que eu quero você **memorize para sua prova**, antes de adentrarmos nos detalhes do **Tratamento Isotérmico** é: **ele NÃO ocorre, SOMENTE, na mesma temperatura!** Desse modo, em um **determinado** momento e por um **tempo específico**, o aço ficará em uma **determinada temperatura**.

Nesse sentido, vamos adentrar nas especificidades desse tipo de tratamento. Nesses tratamentos, o conhecimento das **curvas em C ou TTT** (já comentamos sobre elas anteriormente), será importante. Por conta disso, Estrategista, foco no bizu!



Tratamento Isotérmico faz uso da **curva C ou TTT** e **NÃO** ocorre **SOMENTE** na mesma temperatura!

Retomando, existem **dois tipos** de **Tratamento Isotérmicos** amplamente utilizados: a **Austêmpera e Martêmpera!**

Austêmpera

Na **Austêmpera**, Estrategista, o principal objetivo é a produção de uma microestrutura chamada **bainita**. Essa microestrutura tem menos chance de empenar que a martensita revenida, pois gera menos tensões internas. Por conta disso, ela é indicada para aços com **elevada temperabilidade** (temperabilidade é a capacidade do aço em atingir a microestrutura martensítica depois do tratamento de Têmpera, Coruja!).

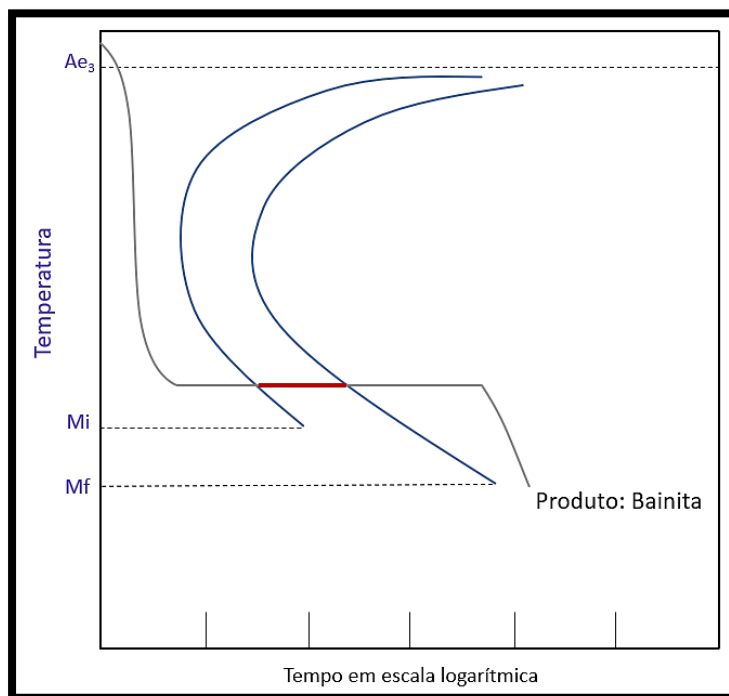
O processo de obtenção dessa microestrutura (bainita) consiste em **aquecer o aço** até a temperaturas **acima da zona crítica** e, em seguida, **resfriá-lo rapidamente**, com o intuito de **evitar a transformação da austenita** (em martensita, por exemplo), até a temperatura **de produção da bainita**.

Quando se atinge a temperatura da **bainita**, se mantém nessa temperatura por um tempo **determinado** (aqui é a parte isotérmica de tratamento, percebeu? Rs).

“Ah, Professor, mas como se mantém esse aço nessa temperatura?” Justamente surge o papel do **banho de sal fundido ou chumbo fundido**. Esse banho é mantido em temperaturas **entre 250°C e 440°C** e,



em seguida, resfriado ao ar. Perceba na figura a seguir a queda brusca de temperatura, e o tempo mantida a mesma temperatura **antes de iniciar em M_i a formação da martensita**.



12

Uma **vantagem** desse tratamento são as **menores** tensões internas quando comparado a outros tratamentos e isso se deve a temperatura de **formação da bainita** (relativamente alta, bem acima da martensita, em torno de 400 a 560°C – lembre-se que o início da martensita é a temperatura aproximada de 225 a 230°C).

Todavia, um ponto de **desvantagem** que cabe mencionar é que, por conta do **resfriamento rápido**, estruturas de aço relativamente **grandes** acabam **não tem uma homogeneidade** na microestrutura em toda a peça, já que **algumas partes** podem **atingir a temperatura final** que ficará em **isometria de temperatura** e **outras partes não**.

Martêmpera

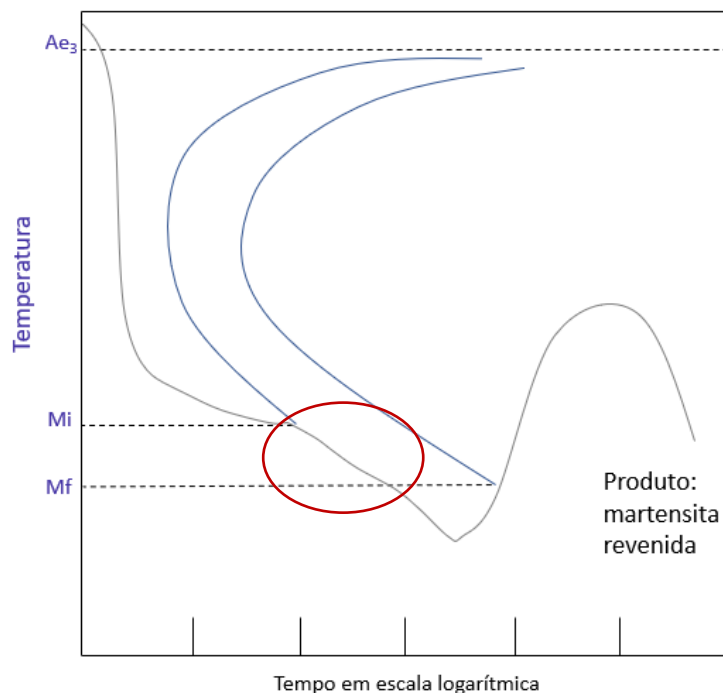
Nesse nosso último tratamento térmico calórico que veremos antes de adentrarmos nos tratamentos termoquímicos, também tem o **objetivo** de atingir a microestrutura final da **martensita**.

Todavia, quando se atinge a temperatura de início da transformação em martensita (M_i), o **resfriamento** que até esse ponto estava rápido, passa a ser **lento** (diferença principal para a têmpera

¹² Adaptado de Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.



convencional seguida do revenido). Dessa forma, teremos a **formação da martensita lenta**. Veja na figura¹³ a seguir a curva característica desse tratamento isotérmico com o resfriamento lento na transformação (círculo em vermelho), Coruja.



“Entendi, Professor. Mas, como isso é feito?”. Caro Estrategista, esse resfriamento lento é proporcionado pelo **meio** no qual a peça é colocada, contendo **óleo quente** ou **sal fundido** em torno da temperatura de M_i .

Assim, uma vantagem é que esse material fica imerso nesses materiais nessa temperatura durante todo o tempo suficiente para que a peça como um **todo** atinja essa temperatura. Nesse sentido, é possível obter uma peça toda **uniforme**, com a microestrutura martensítica com **menor** quantidade de **tensões internas**.

Uma desvantagem é, novamente, a possibilidade de falta de homogeneidade da microestrutura em peças de grande extensão, principalmente, entre o centro e a superfície.

Basicamente, é isso que você precisa entender sobre os processos de tratamento térmicos calóricos para sua prova. As bancas não entram em detalhes mais específicos e colocar todos os detalhes foge do nosso objetivo – a sua aprovação. Partiu **tratamentos termoquímicos!**

¹³ Adaptado de Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.



Tratamentos termoquímicos

Estrategistas, esse assunto é muito pouco explorado em provas e por isso não perderemos tempo precioso de estudo com muitos detalhes. Todavia, é bom para que você saiba que eles existem e algumas características para diferenciá-los. Vamos, lá?

A primeira noção que você precisa ter em mente é que os **Tratamentos Termoquímicos** são assim denominados, pois não dependem somente da temperatura – **necessariamente** teremos **a adição superficial de outro elemento químico**.

Todavia, nesse tipo de tratamento, a **composição química** será alterada **superficialmente**, não adentrando ao interior das peças, a fim de mantê-lo com as características originais. Normalmente, Coruja, o **objetivo** é **eleva**r a **dureza** e a **resistência ao desgaste** da **superfície** dessa peça ao passo que seu **núcleo** continue **tenaz**.

Logo, **memorize** que sempre teremos uma **profundidade controlada** para a **mudança** dessa **composição química**, sendo sempre **superficial**.

Vamos ver os principais **tipos** de tratamentos termoquímicos? Todos eles possuem em sua **denominação** a dica do **elemento químico** que será introduzido na composição química.

Avante!



Perceba, Estrategista, os **Tratamentos Termoquímicos NÃO** dispensam a temperatura – ela **continua** como o **principal fator** para a alteração da microestrutura e das propriedades do material!

Cementação

Nesse tipo de **tratamento termoquímico**, teremos a adição de **carbono** em peças de **ligas de baixo carbono**, justamente com o objetivo de **aumentar** a **dureza** e a **resistência mecânica** nessa região.



Na **Cementação**, a peça será **aquecida** até à temperatura **crítica**, ficando um pouco acima da zona crítica (entre 900 e 950°C) a fim de se atingir a microestrutura **austenítica** e melhorar a **absorção do carbono**. Esse carbono provém do meio rico em **carbonetos**. Esse meio pode ser:

- **gasoso**: será utilizado atmosfera rica em **CO (monóxido de carbono)**;
- **sólido**: será utilizado **carvão** para compor o meio;
- **líquido**: serão utilizados banhos de **sal à base de cianetos**.

Normalmente, depois do processo de cementação, costuma-se submeter a peça ao processo de **têmpera** a fim de produzir a microestrutura **martensítica** na superfície da peça, local no qual ocorreu a **adição do carbono**. Pelo processo de têmpera posterior, teremos duas seções distintas: a superfície **dura** e de alta temperabilidade com alto teor de carbono pela cementação e outra central de baixo carbono e **dúctil** (consequentemente mais tenaz).

Além desses detalhes, os aços devem ter granulação **fina antes** da cementação, pois essa característica confere melhor **tenacidade** na superfície que será **endurecida** e no **núcleo** da peça. Por isso, é comum a **Normalização** da peça (lembre-se que esse tratamento tem o objetivo de deixar o grão mais fino) **antes** da Cementação para garantir processos de Usinagem. Como cita a literatura específica, somente a Retificação pode ser empregada **após** a Cementação para melhorar dimensões e tolerâncias finais.

Nessa seara, Coruja, a **profundidade** da superfície da peça terá aumento da dureza a depender tanto da **temperatura** do processo, quanto do **tempo** e da **concentração** de **carbono** do meio.

CURIOSIDADE



Saiba, Estrategista, que a **cementação** é um dos processos **mais antigos**, tendo registros de que ele era desenvolvido desde a **Roma Antiga**.

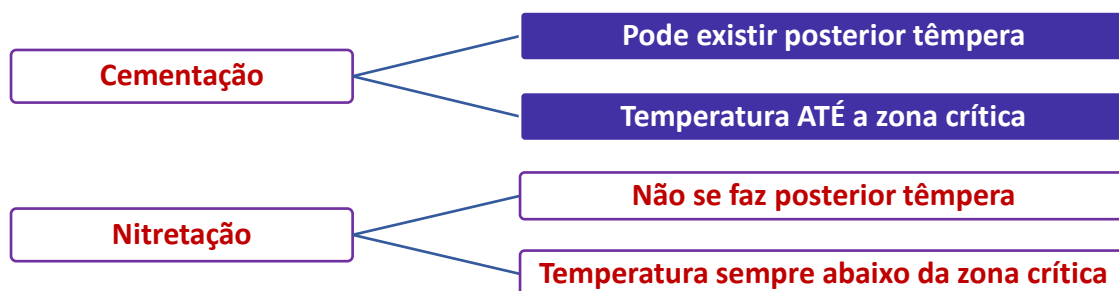
Nitretação

Nesse tipo de **Tratamento Termoquímico**, ocorre a adição de **nitrogênio** na superfície da peça. A grande **vantagem** da nitretação é **não precisar** da posterior **têmpera** a fim de atingir a microestrutura martensítica, pois ela já está suficientemente **dura**.

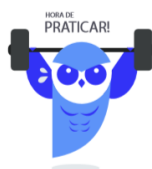
Dessa forma, os **objetivos** desse tratamento também é **eleva**r a **dureza** e a **resistência ao desgaste** da peça, além de **melhorar** tanto a **resistência à fadiga**, quanto à **corrosão** e ao **calor**.



Além disso, conforme aponta a doutrina¹⁴, **a temperatura para o processo é abaixo da zona crítica** (grave isso, pois o examinador pode querer comparar com a cementação em alguma eventual pergunta maliciosa!), ficando em torno de 500 a 560°C – menor que na Cementação.



Normalmente, o tratamento de nitretação é desenvolvido em uma atmosfera **gasosa** rica em **nitrogênio**. Todavia, temos também a Nitretação Líquida que possui como técnica principal o **banho de sais de sódio e potássio** (como NaCN). Dessa forma, há a formação de compostos nitretos que elevam a dureza e a resistência ao desgaste da liga.



(CESPE/Mecânica)

Engrenagens e cames de aço requerem altas durezas superficiais para resistirem a desgastes, devendo, para isso, passar por diferentes tipos de tratamentos térmicos. Acerca desses tratamentos, julgue os itens a seguir.

Na nitretação, a superfície da peça é enriquecida com nitrogênio, que, ao se combinar com componentes dos aços, forma nitretos de alta dureza, aumentando-se, assim, a resistência da peça ao desgaste

() Certo () Errado.

Comentário:

Oras, Coruja, conforme vimos acima, a questão está perfeita! De fato, a **nitretação** gera alta dureza pela difusão de nitrogênio que formará os nitretos na superfície da peça. Esses compostos geram elevada dureza e resistência ao desgaste!

Gabarito: correto.

¹⁴ Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: processos de fabricação e tratamento. Editora: Makron Books do Brasil Ltda, 2ª edição, vol: I, II, III. São Paulo, 1986.



Cianetação

Na **cianetação**, teremos a adição na superfície da peça tanto de **nitrogênio** quanto de **carbono**, simultaneamente. Para isso, o **banho de cianeto fundido** é necessário para essa inclusão.

Nesse tratamento, também teremos a necessidade da **têmpera** posteriormente, assim como na **cementação** e ele também é aplicado a **aços de baixo carbono**, justamente para se elevar a dureza do material em sua superfície, com resistência ao desgaste.

Normalmente, a faixa de temperatura é de 760°C a 870°C e o tempo no banho de sal fundido variando de 30 a 60 minutos. A espessura da camada pode ficar em torno de 0,10 a 0,30 milímetros.

Carbonitreção

Esse tratamento é bem simples de entendermos, pois ele é **muito parecido** com a **cianetação**. Na **carbonitreção**, como o nome sugere, o aço será aquecido em uma atmosfera rica em **carbono e nitrogênio** (com o mesmo foco que na **cianetação** – adicionar esses elementos simultaneamente na superfície da peça).

Alguns gases podem ser utilizados como o gás amônia e o gás natural e a temperatura terá um intervalo maior que o da cianetação, variando entre 700°C e 900°C. **Todavia, a espessura da camada tende a ser menor que da cianetação, variando entre 0,07 e 0,7 milímetros.**

Boretação

Na mesma linha de raciocínio dos demais **Tratamentos Termoquímicos**, na boretação teremos a adição, **por difusão**, do elemento **boro**. Assim, é gerado o composto **boreto de ferro** que gera **elevada dureza** na superfície da peça (chegando a 2000 Vickers no Ensaio Vickers de dureza que é tratado na aula de Ensaios Mecânicos).

Duas **características** sobre esse tratamento que seriam interessantes você memorizar. A primeira é sobre a **alta dureza** atingida depois do tratamento (cerca de 2000 Vickers. Lembra dessa escala que vimos na segunda seção da aula?).

A segunda é quanto ao processo: ele é desenvolvido em meio **sólido**, no qual um composto de **carboneto de boro (B₄C)** e de um **ativador (fluoreto duplo de boro e potássio)**.

Por hoje é só, Coruja! Bora fazer questões!



MECANISMOS PARA AUMENTO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA

Coruja, quando falamos em **mecanismos para aumentar da resistência mecânica** queremos compreender alguns **processos** específicos que a liga metálica irá passar a fim de aumentar sua resistência (como a dureza, por exemplo).

Na realidade, temos algumas **técnicas** que irão impactar no movimento das **discordâncias** da microestrutura do material (lembre-se que a discordância está associada com a deformação plástica, pois pelo seus movimentos é que o metal terá maior facilidade de se deformar!). Assim, se um mecanismo específico consegue reduzir a mobilidade das discordâncias que existem nos arranjos organizados dos átomos que compõem as células unitárias e os grãos da microestrutura, temos, por exemplo, um material com maior resistência mecânica (como, por exemplo, um maior limite de escoamento, por exemplo, além da dureza).



Por isso, memorize, Coruja: para a doutrina dominante, todas as técnicas que veremos aumenta a resistência mecânica por conta da **restrição** ou **impedimento** de movimento de **discordâncias**! ;)

Agora, veremos as principais técnicas cobradas pela sua banca e que dizem respeito a metais **monofásicos** (metais multifásicos vimos que temos outras técnicas, como o tratamento de **têmpera** que visa aumentar a dureza da liga metálica, por exemplo).

Essas técnicas são: **encruamento** (também chamado de **trabalho a frio**); **redução do tamanho do grão**; **endurecimento por precipitação** e **endurecimento por solução sólida**.

Encruamento

O encruamento (também chamado de **trabalho a frio** por muitos autores), consiste no aumento da **dureza** (resistência mecânica dos metais) por meio da **deformação plástica** na qual ele é submetido em temperaturas **abaixo da temperatura de recristalização do material**.

Ele surge justamente pela interação que vai existir entre as discordâncias dos grãos que constituem a microestrutura do material. Ele tem como consequência a elevação da dureza do material deformado



plasticamente (quando feito em temperaturas bem abaixo da temperatura de recristalização desse material), pois surgem **tensões internas** geradas no material por essa deformação plástica.

Essas tensões **aumentam as discordâncias** em sua microestrutura e, assim, essas novas discordâncias irão dificultar o movimento das demais discordâncias existentes, alteram o movimento natural dos planos cristalográficos formados. Dessa forma, o escorregamento desses planos se torna mais difícil de ocorrer.

Uma consequência que existe, Coruja, além do aumento da **resistência mecânica** (como os limites de escoamento e tração, bem como a dureza) é a **perda** da **ductilidade** do material. Além disso, **não há aumento da tenacidade** do material, conforme o encruamento é executado.

Redução do tamanho dos grãos

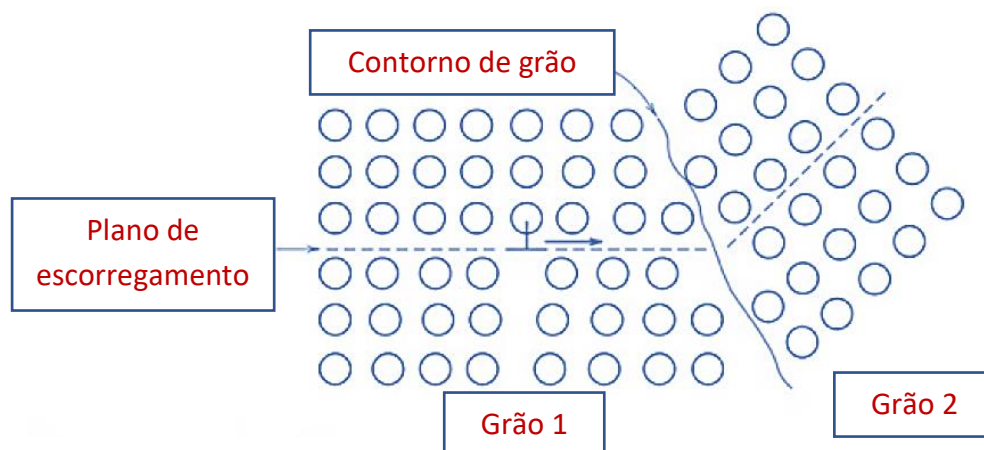
Estrategista, outra técnica muito utilizada é o **refino dos grãos** (redução do seu tamanho). "Ok, prófi, mas por que esse refino/redução de tamanho **aumentaria** a dureza e resistência mecânica do material?

Excelente, questão, minha corujinha alada! Quando o tamanho do grão fica fino, temos um aumento na dureza e na resistência mecânica, pois como os grãos são menores, temos **maior área de contorno** (com mais grãos por unidade de área) e essa área maior impede os movimentos das discordâncias entre eles. Por isso, se eleva a dureza.

Esse obstáculo formado pelo contorno do grão existe, Coruja, porque conforme uma discordância passe entre uma grão pra outro adjacente no retículo, temos diferentes orientações entre eles. Assim, uma discordância precisaria mudar sua **direção** a fim de continuar seu movimento, permitindo assim a deformação. Por isso, quanto **maior área de contorno** (por conta do maior número de grãos que estão menores pelo refino) temos maior número de direções e dificuldade para a discordância se movimentar. Veja a figura¹⁵ a seguir que ilustra essa fenômeno, Coruja.

¹⁵ Adaptado de Callister, W.D. Jr; Rethwish, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction. Editora: LTC, 8ª edição, Rio de Janeiro, 2012.





Existe uma equação que pode vir a ser cobrada, Coruja, que apesar de simples, é importante você saber qual o seu objetivo. Essa equação é denominada **Equação de Hall-Petch** e ela é utilizada para **relacionar** o **tamanho** do **grão** com o **limite de escoamento** do material. Veja:

$$\sigma_1 = \sigma_0 = k_1 \cdot d^{-1/2};$$

Na qual,

- σ_1 : tensão limite de escoamento;
- σ_0 : tensão necessária para mover discordâncias livres do material;
- k_1 : constante do material;
- d : diâmetro médio do grão;

Além disso, é estabelecido na doutrina dominante que o **refino dos grãos** (diminuição do seu tamanho) melhora, também, a **tenacidade** de grande número de ligas. Oras, vimos que a tenacidade não está somente relacionada com a deformação plástica do material e seu grau de ductilidade, mas também ao quanto esse material **devolve energia** que é absorvida.

Endurecimento por precipitação

Coruja, o **endurecimento por precipitação** nada mais é que um tipo de **tratamento** (aplicado normalmente em ligas **não-ferrosas**, como alumínio, cobre, magnésio, níquel e titânio) que utiliza da precipitação em fases distintas de elementos de liga para gerar dureza.

Assim, o material da liga é aquecido até uma temperatura específica para ocorrer a dissolução de certos elementos e, depois, como na têmpera, ele é resfriado para que esses elementos fiquem **precipitados** em uma solução sólida. Esses precipitados serão um **obstáculo** no movimento dos planos cristalográficos e discordâncias do retículo cristalino e, logicamente, com vimos, como efeito temos o aumento da dureza e resistência mecânica do material.



Esse obstáculo que mencionei acontece por conta da deformação no retículo cristalino que os átomos do elemento de liga gera, podendo ser de característica **substitucional** ou **intersticial**, caracterizando um outro mecanismo parecido que é o **endurecimento por solução sólida**. Se a inserção de átomos do soluto na solução (rede de solvente) substituir outro átomo do solvente, temos a **substitucional**. Se o átomo for menor e ocupar posições intersticiais, temos o tipo **intersticial**. É pacífico na doutrina a utilização de átomos de **silício (Si)**, **manganês (Mn)** e **fósforo (P)**, devido ao grande aumento dos limites de escoamento em aços com baixos teores de carbono.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estrategista, chegamos ao término de mais uma aula! Agora, é fazer os exercícios e seu ciclo de revisão - principal pilar para ser aprovado em qualquer concurso!

Trouxe **questões das últimas provas de engenharia mecânica!** Assim, sua preparação ficará completa sobre o tema de aula com diferentes bancas renomadas, além da CESPE/CEBRASPE que é banca do seu concurso, quanto da CESGRANRIO que sempre organizou anteriormente. Assim, teremos FCC, FGV, FEPSE, EAOEAR, etc)! Dessa forma, você arrebentará na sua prova!

Aproveito para deixar, novamente, minhas redes sociais! Possuo uma conta no **Instagram®** na qual compartilho **questões comentadas, dicas de estudos** e **esquemas** sobre diferentes assuntos e temas de Engenharia Mecânica, de tempos em tempos.

Além disso, possuo também um canal no **Telegram®**! Por meio desse canal, eu compartilho outros tipos de informações pertinentes para você como **questões do tipo CESPE/CEBRASPE (certo ou errado) inéditas** sobre Engenharia Mecânica.

Depois, dê uma olhada! ;)



[prof.canelas;](https://www.instagram.com/prof.canelas)



[t.me/profcanelas.](https://t.me/profcanelas)



QUESTÕES COM COMENTÁRIOS



CESPE

1. (CESPE/EMAP – Especialista Portuário – Engenharia Mecânica – 2018)

Com relação aos aços inoxidáveis, julgue o item a seguir.

O aumento da dureza e da resistência mecânica dos aços inoxidáveis austeníticos não pode ser obtido por encruamento, uma vez que a temperatura de recristalização desses materiais é menor do que a temperatura ambiente.

() Certo () Errado

Comentário:

Estrategista, apesar de ainda não termos visto maiores detalhes sobre os aços inoxidáveis austeníticos (objeto de estudo de próximas aulas), podemos resolver essa questão com muita tranquilidade, devido ao erro grotesco dela (rs). Coruja, pelo o amor de Deus, né? Temperatura de **recristalização** do material **menor que a temperatura ambiente** (que é considerada em torno de 25 °C)? É um absurdo! Claro que não. Vimos que os aços comuns possuem temperatura de **recristalização** que começa na faixa de 0,3 a 0,5 (30 a 50%) da temperatura de fusão da liga. No caso dos austeníticos que ainda veremos, pode beirar a faixa superior aos 1000 °C. Erradassa!

Gabarito: errado.

2. (CESPE/PC-PE – Perito Criminal – Engenharia Mecânica – 2016 - Adaptada)

Em relação aos tratamentos térmicos em ligas de ferro-carbono, assinale a opção correta.

Os aços hipoeutetoides, quando resfriados lentamente de uma região austenítica para a temperatura ambiente, apresentam duas fases sólidas distintas: ferrita primária ou proeutetoide e perlita.

() Certo () Errado



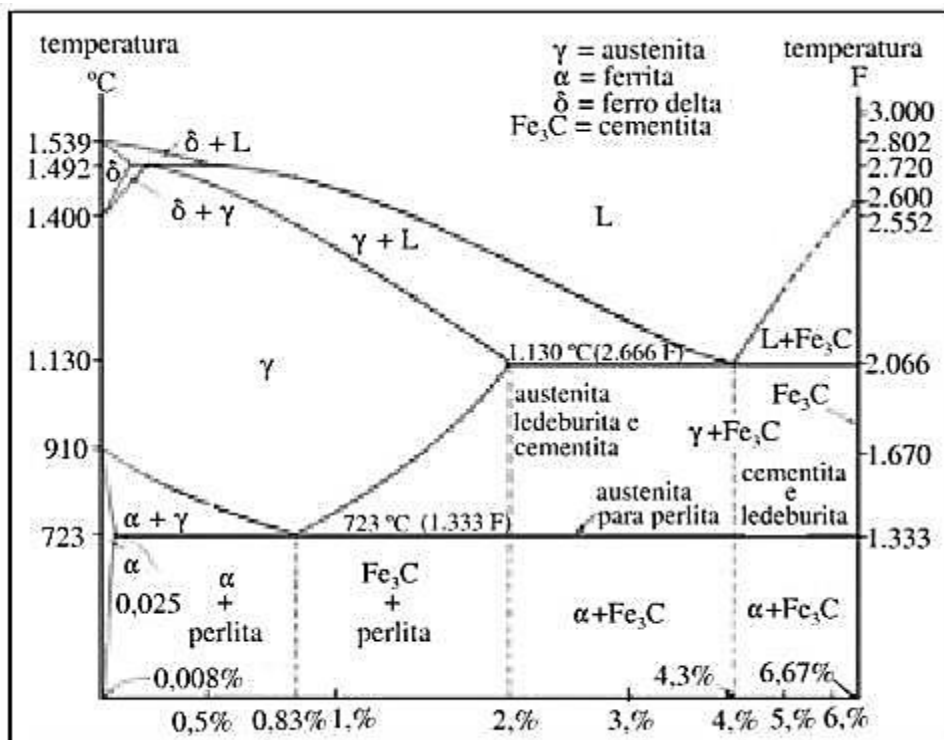
Comentário:

Estrategista, conforme vimos em aula, a **ferrita** de um aço hipoeutetoide (aço com teor de carbono abaixo de 0,76% ou 0,77% ou 0,8% - a depender do autor - de carbono!) pode ser chamada de **primária** ou **proeutetoide** (seria a fase ferrita que não faz parte da perlita – esta que é uma composição de cementita e ferrita – e que começou a se formar, no **resfriamento** do campo austenítico, antes da temperatura eutetoide de 727 °C ser atingida). Já a **ferrita eutetoide** é a ferrita que faz parte da perlita, em lamelas alternadas com cementita. Dessa forma, o raciocínio é mesmo para a cementita – a cementita proeutetoide foi formada a partir do campo austenítico, no resfriamento, e não faz parte da perlita nas ligas hipereutetoides (cujo teor de carbono é acima de 0,76%, 0,77% ou 0,8% a depender do autor).

Até aí, nossa revisão mostra que a questão **tende** a estar correta, quanto ao raciocínio apresentada. Todavia, tem um erro conceitual nessa questão, pois, de acordo com a doutrina majoritária, a **perlita não é uma fase** e, sim, uma **composição** das **fases ferrita e cementita**. Dessa forma, o gabarito foi considerado correto e, possivelmente, uma falta de atenção da banca quando na elaboração da questão (deu esse delize). Por isso, trouxe essa questão para que você tenha em mente esse detalhe sobre a perlita. A rigor, a questão deveria ter sido considerada errada.

Gabarito: correto, professor: errado.

3. (CESPE/PF – Perito Criminal Federal – 2004)



As microestruturas das ligas metálicas podem ser controladas e modificadas por processos termo/químico/mecânicos, resultando em alteração substancial das propriedades mecânicas da liga. Considerando o diagrama Fe-C mostrado acima, julgue o item que se segue.

O máximo de ductilidade nos aços pode ser alcançado com o tratamento térmico de recozimento denominado coalescimento ou esferoidização. Nesse tratamento, que é essencialmente um recozimento subcrítico estendido, o material permanece um longo período de tempo a uma temperatura logo abaixo da temperatura eutetoide e depois é resfriado lentamente para permitir a formação de carbeto sob forma esferoidal.

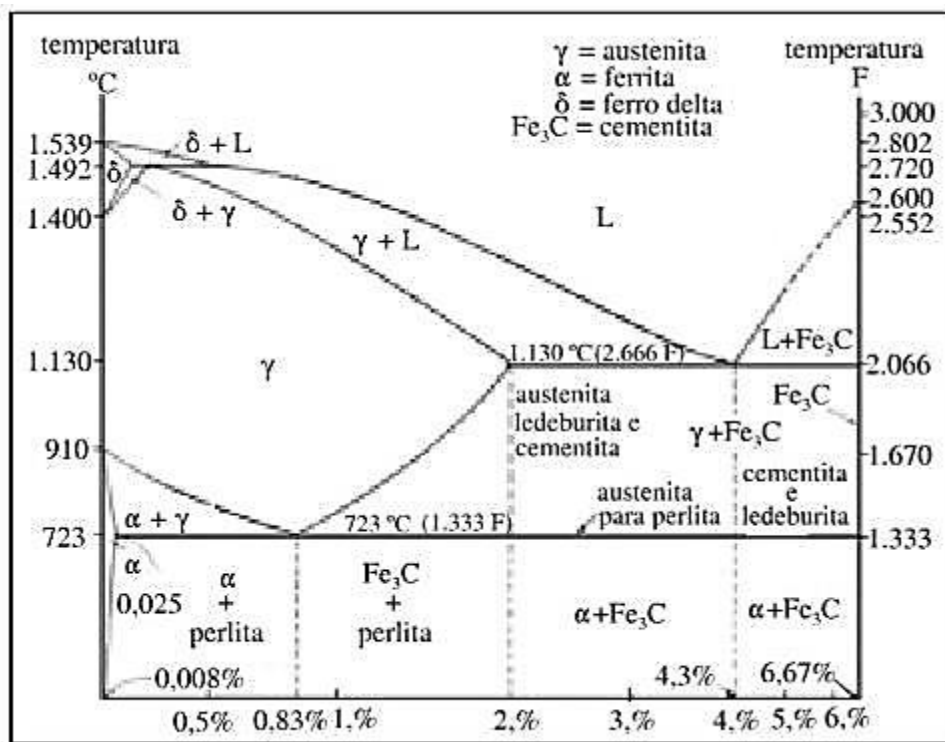
() Certo () Errado

Comentário:

Conforme vimos em aula, Coruja, essa é a definição perfeita do tratamento térmico denominado **coalescimento** ou **esferoidização** (nome dado por conta de microestrutura **esferoidita**) que é um tipo de **recozimento**. Esses grãos provenientes dos carbeto na forma esferoidal influenciam na **ductilidade** da liga, tornando-a mais dútil (grau de deformação no campo plástico maior). Por conta disso, grave que esse tipo de recozimento tem como objetivo **reduzir a dureza da liga** e **aumentar** sua **usinabilidade**.

Gabarito: correto.

4. (CESPE/PF – Perito Criminal Federal – 2004)



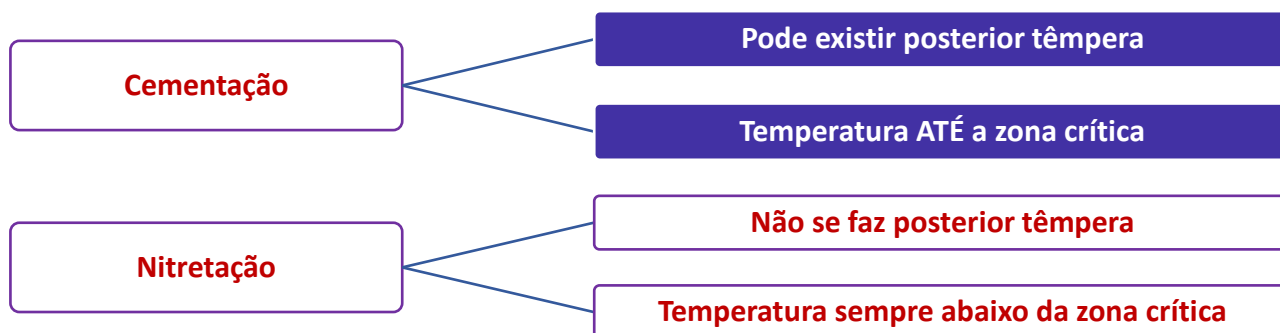
As microestruturas das ligas metálicas podem ser controladas e modificadas por processos termo/químico/mecânicos, resultando em alteração substancial das propriedades mecânicas da liga. Considerando o diagrama Fe-C mostrado acima, julgue o item que se segue.

A nitretação é um tratamento termoquímico em que se promove enriquecimento superficial com nitrogênio. É o tratamento utilizado para peças que necessitam de alta resistência à fadiga superficial, como no caso de engrenagens.

() Certo () Errado

Comentário:

Conforme vimos na parte teórica, temos outra questão correta que nos traz a definição acertada do tratamento **termoquímico** denominado **nitretação**. Além disso, lembre-se, Coruja, que esse aumento do teor de **nitrogênio** na superfície da peça provém de uma atmosfera gasosa rica em gás nitrogênio ou de um meio líquido como a Nitretação Líquida que é feita em um **banho de sais de sódio e potássio** (NaCN). Além disso, na **nitretação não há necessidade de posterior têmpera**, pois a dureza atingida já é elevada. Lembre-se da diferença existente entre esse tratamento e a **cementação**! Veja nosso esquema de aula novamente:



Gabarito: correto.

5. (CESPE/Universidade Federal do Pampa – Mecânica – 2013)

As propriedades estruturais de um produto metalúrgico são obtidas utilizando-se análises laboratoriais. Com relação a essas análises, julgue o item a seguir.

O tratamento térmico de austêmpera gera uma microestrutura bainítica.

() Certo () Errado

Comentário:



Conforme vimos em aula, de fato, na **austêmpera**, tratamento **isotérmico**, temos coo microestrutura final a **bainita**. Questão direta e objetiva.

Gabarito: correto.

6. (CESPE/FUB – Técnico de Laboratório Industrial – 2018)

Engrenagens e cames de aço requerem altas durezas superficiais para resistirem a desgastes, devendo, para isso, passar por diferentes tipos de tratamentos térmicos. Acerca desses tratamentos, julgue os itens a seguir.

Cementação e têmpera superficial são designações para um mesmo tratamento térmico em aços, do qual resulta aumento da dureza superficial da peça.

() Certo () Errado

Comentário:

Opa! Tratamento iguais? De jeito nenhum, Estrategista! Conforme vimos em aula, a **têmpera** é um tratamento **térmico** distinto da **cementação** que, por sua vez, é um tratamento **termoquímico**, cujo o objetivo é aumentar a concentração de carbono na superfície da peça. Apesar de ambas aumentar a dureza do produto final, não são tratamento iguais.

Gabarito: errado.

7. (CESPE/FUB – Técnico de Laboratório Industrial – 2018)

A respeito de tratamentos térmicos em metais, julgue o item seguinte.

O objetivo da têmpera em aços é aumentar a resistência à tração por meio do resfriamento brusco do campo martensítico para o austenítico.

() Certo () Errado

Comentário:

Mais uma errada! Conforme vimos em aula, de fato, um dos objetivos da **têmpera** é aumentar a resistência à tração. Todavia, a alternativa tem uma pegadinha clássica de provas de concursos, pois inverte os produtos finais e iniciais do tratamento. Depois do **resfriamento muito rápido** (brusco) – lembre-se que mais rápido que do tratamento de **normalização** - do campo **austenítico**, tem-se a transformação da microestrutura em 100% **martensítica** (fase metaestável de grandes tensões internas devido ao carbono intersticial que ficou retido).



Gabarito: errado.

8. (CESPE/FUB – Técnico de Laboratório Industrial – 2018)

A respeito de tratamentos térmicos em metais, julgue o item seguinte.

O processo de aquecimento de uma solução supersaturada de carbono em ferro para se transformar em ferrita e cementita é denominado austêmpera.

() Certo () Errado

Comentário:

De fato, Estrategista, no tratamento térmico de **austêmpera**, obtém-se uma estrutura estável de **ferrita + cementita**, denominada **bainita**, como vimos em aula. Todavia, a questão erra ao **definir** essa parte do **processo** – não é **aquecimento** e, sim, **resfriamento**! É no método de **resfriamento**, com passo **isotérmico**, que irá formar, em um **tempo** específico, a **microestrutura** descrita.

Gabarito: errado.

9. (CESPE/FUB – Técnico de Laboratório Industrial – 2018)

A respeito de tratamentos térmicos em metais, julgue o item seguinte.

As finalidades da normalização de aços englobam a homogeneização e o alívio de tensões.

() Certo () Errado

Comentário:

Questão perfeita! Como vimos em aula, realmente, no tratamento térmico de **normalização** de aços, um dos objetivos é homogeneização da **microestrutura** e o **alívio de tensões** internas provenientes, por exemplo, de um processo de fabricação precedente.

Gabarito: correto.

10. (CESPE/FUB – Técnico de Laboratório Industrial – 2018)

A respeito de tratamentos térmicos em metais, julgue o item seguinte.

No recozimento, o metal é aquecido até o ponto de deformação.

() Certo () Errado



Comentário:

De maneira alguma! Estrategista, nos tratamentos térmicos o objetivo não é a “deformação” (termo estranho para esse contexto) do material, porque isso geraria outras tensões nos arranjos do **cristalino**. Além disso, o principal motivo por ela estar errada é que no recozimento o material é aquecido a diferentes temperaturas, a depender do **tipo** de recozimento.

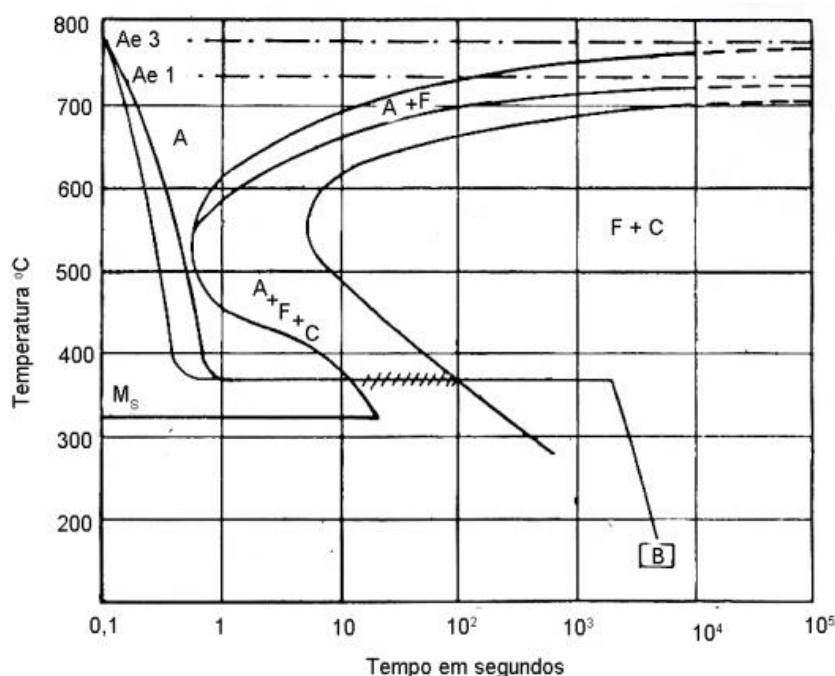
Ou seja, se for **Recozimento para Alívio de Tensões** é uma temperatura **sem** mudança de fase. Diferentemente do **Recozimento Pleno**.

Estrategista, conforme vimos em aula, essa questão não define qual **tipo de recozimento** dentre os quais estudamos. Por conta disso, essa alternativa está **errada**. Lembre-se que dentro do tratamento de recozimento, temos: **Pleno ou Total, Recristalização, Alívio de Tensões, Isotérmico ou Cíclico**. Para cada um, temos **temperaturas diferentes**, podendo ou não ocorrer mudança de fase (no **Pleno**, se a liga for hipoeutetoide, atinge-se até 50°C acima da linha A_3 e para **Alívio de Tensões** não deve ocorrer nenhuma mudança de fase e deformação).

Gabarito: errado.

Cesgranrio

11. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2018)



A curva TTT ilustrada acima corresponde ao resfriamento de um tratamento térmico denominado



- a) recozimento.
- b) recozimento isotérmico.
- c) normalização.
- d) martêmpera.
- e) austêmpera.

Comentário:

Questão "tranquila", Coruja! Ela nos cobra o seu conhecimento sobre os **tratamentos isotérmicos** e suas principais transformações nas curvas TTT. Perceba que pelo resfriamento abrupto da liga antes da formação da martensita, temos a fase isotérmica do tratamento (mesma temperatura) até a produção de 100% de **bainita**. Além disso, perceba que **não temos posterior revenido** aplicado, já que não há necessidade por conta das menores tensões internas atingidas sem a formação da microestrutura metaestável martensítica. Essas características estão presentes no tratamento isotérmico denominado **austêmpera**, Coruja! Lembre-se da nossa figura.

Gabarito: "e".

12. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2018)

Qual mecanismo de aumento da resistência mecânica dos metais é o único que garante aumento de resistência mecânica e de tenacidade, simultaneamente?

- a) Encruamento.
- b) Refino de grão.
- c) Transformação martensítica.
- d) Endurecimento por precipitação.
- e) Endurecimento por solução sólida.

Comentário:

Questão tranquila, Estrategista! Ela nos cobra o conhecimento sobre alguns **mecanismos** para **aumento de resistência mecânica** (como, por exemplo, dureza) do metais. Vejamos cada alternativa:

Letra "a": conforme vimos, o **encruamento** consiste no aumento da **dureza** (resistência mecânica dos metais) por meio da **deformação plástica** na qual ele é submetido em temperaturas abaixo da temperatura de recristalização do material. Ele surge justamente pela interação que vai existir entre as discordâncias dos grãos que constituem a microestrutura do material. Ele também é chamado de trabalho a frio e tem como consequência a elevação da dureza do material deformado plasticamente (quando feito em temperaturas bem abaixo da temperatura de recristalização desse material). Essa dureza é



proveniente das tensões internas geradas no material pela deformação plástica que aumenta as discordâncias em sua microestrutura, e ela justamente existe pela dificuldade de ocorrer o escorregamento dos planos cristalográficos. Todavia, **não há aumento da tenacidade** do material simultaneamente;

Letra "b": perfeita! Quando o tamanho do grão fica fino, temos um aumento na dureza e na resistência mecânica, pois como os grãos são menores, temos **maior área** de contorno (com mais grãos por unidade de área) e que impedem movimentos das discordâncias entre eles. Por isso, se eleva a dureza. Além disso, é estabelecido na doutrina dominante que o **refino dos grãos** (diminuição do seu tamanho) melhora, também, a **tenacidade** de grande número de ligas. Oras, vimos que a tenacidade não está somente relacionada com a deformação plástica do material e seu grau de ductilidade, mas também ao quanto esse material **devolve energia** que é absorvida.;

Letra "c": equivocada! Lembre-se que na **transformação martensítica** temos de fato **aumento na dureza**, porém por causa do resfriamento abrupto da zona austenítica (como vimos no tratamento de têmpera) que não permite o carbono se dissolva. Esse carbono fica retido na matriz ferrítica (CCC), aumentando a dureza e gerando tensões (a estrutura fica toda rígida com esse carbono intersticial). Todavia, não houve um refinamento de grãos e diminuição dele. Dessa forma, **não há** aumento da **tenacidade** além da dureza nessa transformação proveniente do tratamento de **têmpera**);

Letra "d": errada. O **endurecimento por precipitação**, como vimos, é um tipo de **tratamento** (aplicado normalmente em ligas **não-ferrosas**, como alumínio, cobre, magnésio, níquel e titânio) que utiliza da precipitação em fases distintas de elementos de liga para gerar dureza. Assim, o material da liga é aquecido até uma temperatura específica para ocorrer a dissolução de certos elementos e, depois, como na têmpera, ele é resfriado para que esses elementos fiquem **precipitados** em uma solução sólida. Esses precipitados serão um obstáculo no movimento dos planos cristalográficos e discordâncias do retículo cristalino. Também não é característica ter o aumento da **tenacidade** da liga;

Letra "e": errada. Seguindo a mesma linha de pensamento, os diversos tratamentos termoquímicos que vimos fazem parte da classificação do mecanismos de **endurecimento por solução sólida**. Consiste, na inclusão de elementos de liga que irão compor a microestrutura do retículo cristalino do metal de base criando uma solução **substitucional** ou **intersticial** que deforma esse retículo e dificultam o movimento das discordâncias. Por isso, aumenta a resistência mecânica e a dureza do material. Todavia, a tenacidade não é aumentada, pois ainda há presença de tensões residuais não eliminadas.

Gabarito: "b".

13. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2014)

Dentre os mecanismos para o aumento da resistência mecânica dos metais e de suas ligas, tem-se o encruamento. O endurecimento do material, nesse mecanismo, é causado por



- a) deformação a frio.
- b) deformação a quente.
- c) recristalização.
- d) recuperação.
- e) solução sólida.

Comentário:

Conforme vimos em aula, Coruja, o **encruamento** do material ocorre pela **deformação a frio**, por conta da mudança da microestrutura dos grãos (ficando alongados e para diferentes direções, a depender do trabalho a frio) e interações entre as discordâncias entre eles gerando tensões internas. Dessa forma, uma característica é a elevação da dureza.

Todavia, o encruamento é percebido somente em temperaturas abaixo da temperatura de recristalização do material, já que nessa temperatura os grãos ganham novas formas, se recristalizando (por isso o nome) e promovendo a eliminação das tensões internas decorrentes da própria deformação. Em outras palavras, a temperatura de recristalização vai "facilitar" os novos posicionamentos dos grãos pela deformação imposta.

Gabarito: "a".

14. (Cesgranrio/Liquigás Distribuidora – Engenheiro Júnior - Mecânica – 2013)

O eixo vertical de um grande misturador de líquidos falhou, assim que foi posto em funcionamento, ainda nos testes de recebimento. Esse eixo deveria ter sido feito de aço SAE 1045 temperado e revenido (30 HRC). O eixo não sofreu sobrecarga e estava corretamente instalado e com os mancais devidamente lubrificados. Foi feito um ensaio de dureza no eixo falhado, onde se verificou uma dureza muito abaixo da esperada. A microestrutura foi então analisada em um microscópio metalúrgico, à temperatura ambiente, e mostrou microestrutura de ferrita e perlita.

A conclusão a que se chega, na análise, é a de que a

- a) dureza baixa e a microestrutura de ferrita e perlita comprovam o sucesso do tratamento térmico.
- b) dureza baixa é uma característica esperada em um tratamento de têmpera e revenido bem executado.
- c) dureza baixa e a microestrutura de ferrita e perlita mostram que o eixo não passou por têmpera e revenimento.
- d) ferrita e perlita são microestruturas típicas de tratamento térmico.
- e) microestrutura deveria ser austenita, comprovando que o aço foi temperado e revenido.

Comentário:



Olha aí, Coruja! Questãozinha sobre **tratamentos térmicos**! O enunciado nos pede informações sobre o **tratamento térmico de têmpera e posterior revenido**!

Conforme vimos em aula, o tratamento de **têmpera** visa atingir a microestrutura **martensítica** (microestrutura de elevada dureza) por meio de um resfriamento brusco do campo austenítico do material. Esse cenário ocorre, por quê? Por conta do **carbono** secundário que não são dissolvidos por conta do rápido resfriamento (não teve tempo para tal) em um aço hipoeutetoide, por exemplo. Esse carbono não se separa totalmente e fica lá entre os espaços da célula unitária CCC da **ferrita**. Essa situação gera elevadas tensões internas que podem ser prejudiciais para o serviço desse aço e, apesar da dureza atingida pela formação da microestrutura martensítica, é preciso fazer o **revenido** a fim de **aliviar essas tensões geradas**.

Veja que é a situação do nosso aço da questão: temperado e revenido em tese. Isso, porque a **dureza** se mostrou **baixa**! Ou seja, **não ocorreu o tratamento de têmpera** do material!

Além disso, a depender da **temperatura** e do **tempo** do tratamento de **revenido**, teremos diferentes **microestruturas formadas** (bainita, troostila – denominação em desuso, sorbíticas, etc). Assim, não teremos, necessariamente de **ferrita + perlita** (lamelas entre ferrita e cementita – Fe_3C). Alternativas “d” e “e” erradas.

Dessa forma, temos que o gabarito da questão é a letra “c”, pois a dureza baixa e a presença majoritária de ferrita e perlita demonstra que o aço não passou pela têmpera e pelo revenido, mostrando o fracasso do tratamento (“a” e “b” erradas).

Gabarito: "c".

15. (Cesgranrio/Innova S.A. – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2012)

A microestrutura responsável pelo endurecimento dos aços carbono resultantes do tratamento térmico de têmpera é a

- a) martensita.
- b) perlita.
- c) ferrita.
- d) austenita.
- e) cementita.

Comentário:

Mais uma bem fácil, "tchierto", Coruja? Veja que ela cobra o nosso conhecimento sobre **tratamentos térmicos** e, mais especificamente, o tratamento de **têmpera**. Oras, como vimos, quando falamos mais especificamente em ligas Fe-C, no tratamento de **têmpera**, o principal objetivo é atingir a microestrutura **martensítica**.



É justamente por essa microestrutura que o aço vai apresentar a tal da **elevada dureza e resistência à tração**. Por conta disso, esse aço é muito utilizado na **construção mecânica**. São os famosos **aços temperados**! Vimos que por conta do resfriamento rápido da zona austenítica (microestrutura em célula unitária CFC) o carbono que antes estava solúvel nessa microestrutura passa a fazer parte da microestrutura ferrítica (célula unitária CCC) que não admite grande solubilidade do carbono, pois não há tempo de ele se desprender. Assim, esse carbono fica intersticial, constituindo a microestrutura martensítica (metaestável) responsável por alta dureza e tensões internas.

Gabarito: "a".

16. (Cesgranrio/Innova S.A. – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2012)

Um dos principais parâmetros dos tratamentos térmicos é a velocidade de resfriamento. Sua variação é capaz de alterar a microestrutura e as propriedades mecânicas resultantes nos aços carbono.

O grau de severidade do resfriamento dos diversos meios pode ser classificado, em ordem crescente, para uma mesma temperatura, como

- a) água, ar, vácuo, óleo e solução aquosa a 10% NaCl.
- b) ar, óleo, água, solução aquosa a 10% NaCl e vácuo.
- c) ar, vácuo, óleo, solução aquosa a 10% NaCl e água.
- d) vácuo, ar, óleo, água e solução aquosa a 10% NaCl.
- e) vácuo, água, solução aquosa a 10% NaCl, óleo e ar.

Comentário:

Estrategista, questão bem interessante que, por meio do nosso conhecimento básico de engenharia, poderíamos "matar" sem dificuldades. Oras, dê um "look" nas alternativas. Veja que ele quer a ordem **crescente** de severidade no resfriamento. Ou seja, ela quer do **menos** severo para o **mais** severo. Logo, temos que entender quais **meios** são os que fazem com que o resfriamento ocorra de maneira menos abrupta e agressiva, para a mais amena.

Coruja, no **vácuo** temos **ausência** de matéria. Logo, a troca de calor entre "corpos" é muito baixa (insignificante). Dessa forma, o **vácuo** é o meio no qual teremos o menor graus de severidade no resfriamento. Assim, eliminamos as letras "a", "b" e "c". Além disso, entre **ar** e **água**, é claro que o grau de severidade menor é o do ar! Justamente pelo seu coeficiente de condutividade térmica ser muito baixo (considerado, inclusive como um dos melhores isolantes da natureza). Assim, temos que a letra "d" é o nosso gabarito.

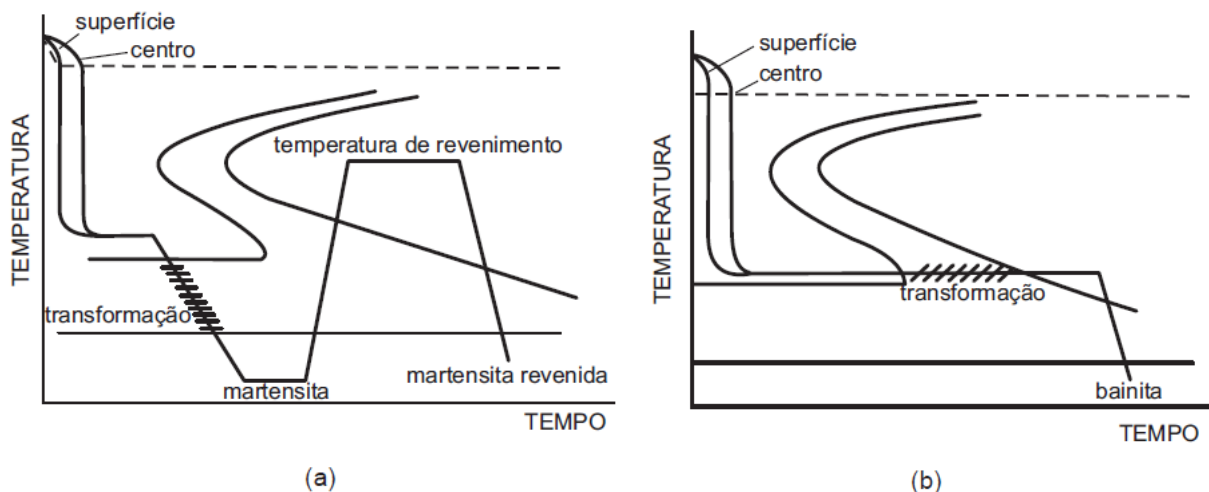


Todavia, caso a questão não desse essa "colher" de chá para você (querendo, por exemplo, cobrar qual o mais severo entre óleo e água - aí complicaria, pois temos vários tipos de óleos que podem ser empregados), saiba a **hierarquia do menos severo para o mais severo** de acordo com a doutrina:

VÁCUO < AR < ÓLEOS DE VÁRIAS VISCOSIDADES < ÁGUA < SOLUÇÃO AQUOSA A 10% DE NaCl ou NaOH ou Na₂CO₃

Gabarito: "d".

17. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2010)



As figuras (a) e (b) acima representam tratamentos térmicos que podem ser utilizados em aços de média/alta resistência para melhor equilíbrio de suas propriedades mecânicas. Eles são conhecidos, respectivamente, como

- a) martêmpera e normalização.
- b) têmpera e revenido.
- c) austêmpera e martêmpera.
- d) têmpera/revenido e martêmpera.
- e) martêmpera e austêmpera.

Comentário:

Coruja, a princípio o gabarito dessa questão foi dado como a letra "d". Mas, eu não concordo. O correto deveria ser a letra "e".

Veja, Coruja, a questão nos cobra conhecimentos das **curvas TTT (Transformação, Temperatura e Tempo)** dos **tratamento térmicos** específicos. Veja que em "a", temos o tratamento de **martêmpera** (resfriamento abrupto da zona austenítica com início e término da transformação martensítica antes de cruzar a curva e resfriamento entre o início da formação martensítica e seu final lento) e seguido do **revenido** para alívio de tensão.



Em “b”, temos o tratamento térmico de **austêmpera**, Coruja! Perceba que temos a fase isotérmica do tratamento antes do início da transformação martensítica e ao final temos 100% bainita! (Lembre-se sempre de estudar as curvas características desses dois tratamentos!).

Além disso, você poderia se perguntar se a curva “a” poderia ser o tratamento de **têmpera**, seguido de **revenido**. De fato, poderia, já que não há muita indicação que o resfriamento entre o início da martensítica e seu final é rápido ou lento (lembre-se que na **têmpera**, o resfriamento continua rápido mesmo quando começa a transformação martensítica). Todavia, em “b”, temos a **austêmpera** e não **martêmpera**, já que temos a formação de bainita (100%) e não da martensita revenida (típica do tratamento de martêmpera).

Gabarito: “d”.

18. (Cesgranrio/Petrobrás – Engenheiro de Equipamentos Júnior – 2006)

Em relação ao tamanho do grão austenítico, observe as afirmações a seguir.

I - Os aços com tamanho grande de grão austenítico tendem a apresentar mais facilmente, no esfriamento, uma estrutura martensítica.

II - Deve-se preferir um aço com granulação grosseira, devido à menor suscetibilidade à presença de fissuras de têmpera.

III - Quanto maior o tamanho do grão, mais para a esquerda são deslocadas as curvas de início e fim de transformação da austenita.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s):

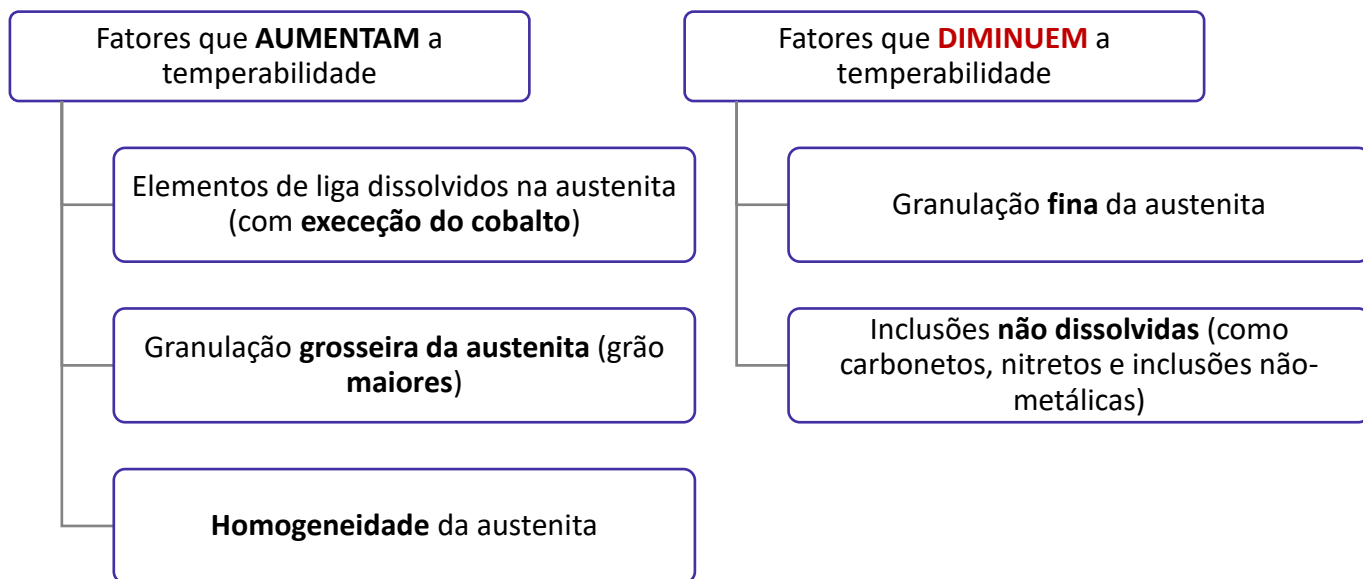
- a) I, apenas.
- b) I e II, apenas.
- c) I e III, apenas.
- d) II e III, apenas.
- e) I, II e III.

Comentário:

Estrategista, questão interessante que nos cobra alguns fatores que influenciam na **temperabilidade** (capacidade de formação da microestrutura martensítica) nos aços durante os tratamentos térmicos como, por exemplo, na **têmpera**.

Dessa forma, temos alguns fatores que vão influenciar no deslocamento da curva TTT, temos:





Analisando cada assertiva, temos:

I: correta! De fato, grãos maiores (mais grosseiros) austeníticos facilitam a formação da martensítica durante o resfriamento;

II: errada! Na realidade, conforme vimos em aula, temos que as fissuras de têmpera tendem a ocorrer mais facilmente em grãos austeníticos **grosseiros**;

III: errada, também, Coruja! Como vimos em aula, quanto maior o grão da austenita, mais para a **direita** é o deslocamento do “C” da curva TTT, facilitando, assim, a obtenção da microestrutura martensítica pelo início da sua transformação e atraso na formação da perlita.

Gabarito: “a”.

19. (Cesgranrio/CIA Petroquímica de Pernambuco – Técnico de Inspeção Sênior – 2010)

O tratamento térmico de têmpera é aplicado aos aços para construção mecânica quando se deseja obter aumento de dureza e resistência mecânica. O microconstituente que garante o aumento dessas propriedades mecânicas é a martensita que, no entanto, confere ao aço baixa tenacidade.

Por esse motivo, deve-se aplicar, após a têmpera, o tratamento térmico de

- a) recozimento.
- b) normalização.
- c) revenimento.
- d) cementação.
- e) envelhecimento.



Comentário:

Tranquilo, Coruja! Lembre-se que depois do tratamento de **têmpera** (que tem como objetivo atingir a estrutura **martensítica** - fase metaestável que possui um carbono intersticial que não conseguiu se dissolver por conta do resfriamento brusca da fase austenítica) preciso aplicar o **revenido**! Esse tratamento posterior visa justamente permitir que o carbono seja dissolvido e diminua as **tensões internas** geradas outrora por ele na microestrutura de célula unitária CCC da ferrita (que permite baixa solubilidade do carbono).

Gabarito: “c”.

20. (Cesgranrio/Transpetro – Técnico de Inspeção de Equipamentos e Instalações Júnior – 2011)

O tratamento térmico que, após solubilização, permite precipitar, de forma controlada, partículas de segunda fase em aços e ligas especiais é denominado

- a) têmpera.
- b) martêmpera.
- c) austêmpera.
- d) envelhecimento.
- e) revenido.

Comentário:

Estrategista, dentre todas as opções de tratamentos térmicos, o único que permite a precipitação de forma controlada de elementos de liga durante o resfriamento é o **envelhecimento** (também chamado de **recozimento isotérmico**).

Gabarito: “b”.

21. (Cesgranrio/Transpetro – Engenheiro Júnior - Mecânica – 2018)

O principal mecanismo para o aumento simultâneo da resistência mecânica e da tenacidade de um aço ao carbono AISI 1010 é

- a) a segregação de enxofre nos contornos dos grãos austeníticos.
- b) a segregação de fósforo nos contornos dos grãos austeníticos.
- c) o aumento do tamanho do grão austenítico.
- d) a redução do tamanho do grão austenítico.



e) o aumento do tamanho do grão ferrítico.

Comentário:

Olha aí, Coruja! Mais um questão que nos cobra alguns dos **mecanismos de aumento de resistência mecânica**! Lembre-se que o mecanismo de **refino de grão austenítico** (no campo austenítico) gera, além do **aumento da resistência mecânica** um ganho elevado de **tenacidade**! Dessa forma, temos como resposta correta a letra "d".

Gabarito: "d".

22. (Cesgranrio/Petrobrás - Profissional Júnior - Engenharia Mecânica – 2014)

A martensita pode apresentar-se dura e frágil, quando temperada, o que pode vir a inviabilizar o seu emprego prático.

O que melhora na martensita, por meio do tratamento de revenido, a fim de se atingirem valores adequados para a sua utilização?

- a) Resiliência e tenacidade
- b) Resiliência e ductilidade
- c) Tenacidade e resistência mecânica
- d) Tenacidade e ductilidade
- e) Ductilidade e resistência mecânica.

Comentário:

Estrategista, apesar do gabarito estar correto dessa questão, eu acredito que ela deveria ter sido anulada, ou ter considerado, também, como gabarito, as respostas "d" e "e". Tanto a letra "c", "d" e "e", na lavra da doutrina majoritária, como Chiaverini e Callister, por exemplo, podem ser consideradas corretas. O **revenido**, como vimos, alivia as tensões internas pela dissociação do **carbono** retido intersticial que gera as tensões e elevada dureza na fase metaestável denominada **martensítica**. Essa fase, como vimos, surge por conta dessa carbono que acaba rearranjo a célula unitária da ferrita (CCC) em um arranjo TCC (Tetragonal de Corpo Centrado). Por conta disso, toda a microestrutura fica com essas tensões internas o que confere ao aço martensítica, apesar da alta dureza, elevada **fragilidade**. Com o tratamento de **revenimento** temos uma melhora significativa na **tenacidade**, conciliando boa resistência mecânica (por isso, torna-se viável sua utilização em serviço de engenharia). Todavia, a **ductilidade** também é **sensivelmente aumentada**. Por isso, a letra "d" também, ao meu ver, poderia ser considerada correta, bem como a letra "e".



Gabarito: “c”; “d” e “e”, professor.

23. (Cesgranrio/Petrobrás - Profissional Júnior - Engenharia Mecânica – 2014)

Que tipo de tratamento térmico é recomendado quando se deseja obter um produto final com alta ductilidade e resistência ao impacto, sem perda expressiva da dureza?

- a) Recozimento
- b) Normalização
- c) Têmpera
- d) Martêmpera
- e) Austêmpera.

Comentário:

Oras, Estrategista, perceba que o produto final deve conciliar **alta ductilidade** e **resistência ao impacto**, sem perda que seja **expressiva** de **dureza**. Perceba que são as características da **austêmpera**! Nesse tratamento, temos a transformação da microestrutura em **bainita**. Ele sofre um resfriamento brusco, mas sem iniciar a transformação martensítica (por conta da estabilização de uma temperatura superior) e, assim, é mantido nessa temperatura (parte isotérmica do tratamento) até a transformação abaixo do "joelho" da curva TTT, atingindo a **bainita**. As propriedades atingidas são: alta ductilidade, conciliada com **resistência ao impacto** e **pequena perda de dureza**. No recozimento e na normalização, temos uma queda mais acentuada na dureza (apesar da melhora nas propriedades mecânicas na normalização pela estrutura mais fina), por isso as letras "a" e "b" estão erradas. A **têmpera** não tem perda de dureza, muito pelo contrário! Pela estrutura martensítica final, temos elevada dureza (letra "c", errada). Na **martêmpera**, temos as mesmas propriedades que na têmpera seguida de revenido, mas, por conta de a transformação ser lenta, a microestrutura martensítica é mais uniforme na martêmpera (letra "d", errada).

Gabarito: “e”, professor.

EAOEAR

24. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2020)

Avalie as seguintes asserções acerca de tratamentos térmicos dos aços e a relação proposta entre elas.

I. Quanto mais acima da zona crítica estiver a temperatura de aquecimento do tratamento, maior segurança se terá da completa dissolução das fases no ferro gama,



PORQUE

II. o excessivo aumento do tamanho do grão austenítico carrega consigo desvantagens, como menor tenacidade e maiores tensões residuais.

Sobre essas asserções, é correto afirmar que

- a) a primeira é verdadeira e a segunda, falsa.
- b) ambas são verdadeiras e não possuem qualquer relação.
- c) ambas são verdadeiras e a primeira é uma causa da segunda.
- d) a primeira é verdadeira e a negação da segunda torna-a verdadeira.

Comentário:

Olha aí, Coruja, questão sobre a influência do grão austenítico nas propriedades dos materiais! Oras, vimos que quanto maior a temperatura (acima da zona crítica) maior será o tamanho do grão austenítico (claro, estamos dentro dessa fase e o crescimento do grão vai acompanhar a temperatura). Dessa forma, no resfriamento, por conta de o tamanho do grão ser maior, **maior dificuldade** terá a **perlita de ser formada** (pois ela começa a se formar nos contornos dos grãos, exigindo mais tempo para seu começo e término de transformação). Assim, a curva TTT se desloca para a direita, demorando para ter início a formação da perlita. Consequentemente, os aços cujo tamanhos de grãos austeníticos são grandes, tendem a apresentar uma microestrutura final **martensítica** (que possui **elevada tensão e menor tenacidade**, por conta do carbono intersticial que não se desprende e deixou a microestrutura mais dura e mais frágil).

Gabarito: “c”.

25. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2020)

Avalie as afirmações sobre o tratamento térmico de coalescimento.

I. Uma das suas operações é promover a oscilação de temperatura do aço logo acima e abaixo da linha inferior da zona crítica (A1).

II. Trata-se de qualquer tratamento capaz de produzir esferoidita.

III. Uma das suas operações é o aquecimento prolongado de aços laminados ou normalizados a uma temperatura logo acima da linha inferior da zona crítica (A1)

Está correto apenas o que se afirma em que



- a) II.
- b) I e II.
- c) I e III.
- d) II e III.

Comentário:

Opa! Questão que nos cobra os detalhes mais gerais dos tratamentos. Vejamos:

I - certo! Exatamente, no **coalescimento (esferoidização)** durante o processo, temos a oscilação da temperatura acima e/ou abaixo como uma opção do tratamento;

II - sim! De fato, o objetivo é obter a microestrutura **esferoidita**, proveniente dos carbonetos não dissolvidos;

III - errada! O aço é submetido, por meio desse tipo de tratamento térmico por recozimento, a uma **temperatura** também **abaixo da linha A₁, por um tempo longo** ou, normalmente, se faz com que a **temperatura oscile em torno da mesma linha** (hora acima, hora abaixo). Mas, não se pode afirmar que é sempre **acima**. Aí o erro da questão;

Gabarito: “b”.

26. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2019)

As seguintes afirmativas referem-se ao tratamento térmico de recozimento de aços.

- I. O recozimento pleno, ou simplesmente recozimento, consiste em austenitizar o aço, resfriando-o lentamente em seguida.
- II. O recozimento subcrítico é aquele em que o aquecimento se dá a uma temperatura abaixo da linha A₁ (727 °C).
- III. Na esferoidização, a austenita homogênea tende a formar perlita, enquanto a austenita heterogênea tende a formar carbonetos esferoidizados.

Está correto o que se afirma em

- a) I e II, apenas.
- b) II e III, apenas.
- c) I e III, apenas.



d) I, II e III.

Comentário:

Questão tranquila, Coruja! Ela nos cobra as particularidades do tratamento de **recozimento pleno!** Vejamos cada assertiva.

I - perfeita! Exatamente! lembre-se que a temperatura de aquecimento fica **acima** da **temperatura de recristalização** daquela liga específica (seria a zona crítica dos aços, liga Fe-C – cerca de 50 °C acima da linha A₃ para aços hipoeutetóides e acima da linha A₁ para hipereutetóides. Outra característica desse tipo é o **resfriamento lento** que ocorre **dentro de um alto forno**, gerando **propriedades mecânicas uniformes em toda a peça**;

II - perfeita! Exatamente! Também chamado de **recozimento para alívio de tensões** é aquele caracterizado por fazer a **mudança de fase da liga** (indo até 727 °C - linha A₁);

III - correta, também! Basicamente, quanto maior a temperatura no campo austenítico, Coruja, maior a chance dos seus grãos se tornarem **homogêneos** (ou seja, na nucleação, os grãos austeníticos têm menos carbonetos residuais, pois os carbonetos se dissolveram). Assim, a estrutura perlítica tende a ser mais lamelar (formada pelas lamelas de ferrita e cementita no final do resfriamento). Todavia, caso a austenita seja **heterogênea** (com **carbonetos residuais** em áreas ricas em carbono na microestrutura), esses núcleos de carbonetos não dissolvidos impactam na formação da perlita fazendo com que a transformação seja acelerada e tendendo a ter uma forma "globulizada" (esferoidal) em detrimento a forma lamelar;

Gabarito: "d".

27. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2017)

A têmpera é um tratamento térmico de extrema importância para aços, principalmente quando se deseja utilizar em aplicações estruturais. Esse tipo de tratamento consiste em um resfriamento muito rápido, geralmente utilizando meios líquidos, onde as peças são submergidas após o aquecimento em um forno. Posteriormente à realização da têmpera, é comumente feito um revenimento, através do aquecimento de um aço até uma temperatura definida durante um período de tempo específico. Sobre esses tratamentos térmicos, é correto afirmar que

- a) devido ao rápido resfriamento do material na têmpera, a difusão do carbono é impedida de ocorrer, formando uma microestrutura monofásica em equilíbrio denominada martensita.
- b) a têmpera é um tratamento térmico que eleva consideravelmente a resistência à tração, a dureza e a resistência ao desgaste, mantendo uma ductilidade adequada apesar de originar tensões internas em grande intensidade no material.



- c) o revenido de alguns aços pode acarretar em uma fragilização, que reduz a tenacidade do aço. Essa fragilização pode ocorrer quando os aços contêm concentrações apreciáveis dos elementos de liga manganês, níquel ou cromo, além de conter impurezas.
- d) A temperabilidade é uma medida de profundidade de endurecimento do material, que é uma função quase que exclusivamente do seu teor de carbono. Um dos métodos de medir a temperabilidade de um aço é o “método de Grossmann”, que consiste na obtenção de um perfil de dureza após o resfriamento sob condições controladas.

Comentário:

Olha aí, Coruja! Questão boa para revisarmos um tratamento que é o queridinho da banca: **têmpera!** Além, é claro, do **revenido** que é comumente empregado posteriormente! Vejamos cada alternativa:

Letra "a": errada! Começou bem, mas o erro está no final: a martensita é uma microestrutura monofásica **que não está em equilíbrio** (é metaestável com célula unitária TCC - Tetragonal de Corpo Centrado);

Letra "b": errada! A ductilidade **não é adequada!** Ela é extremamente **frágil!** Por conta disso, se faz o **revenido** a fim de que o carbono intersticial que não foi dissolvido saia e, assim, a microestrutura ganha certo grau de ductilidade e leve perda de resistência mecânica;

Letra "c": exatamente! Coruja, veremos com maiores detalhes os efeitos de elementos de ligas e impureza nas ligas metálicas, mas, desde já, saiba que a depender da sua concentração, pode-se **gerar uma fragilização excessiva do aço** (o que gera em uma queda considerável na sua tenacidade), apesar do aumento de outras propriedades, como a dureza;

Letra "d": errada! De fato, o método de Grossmann, como vimos, é um método para se obter um perfil de dureza associada a profundidade atingida no material. Todavia, a **definição de temperabilidade** a um valor máximo de dureza! A temperabilidade, de fato, **tem a ver com a profundidade de dureza atingível** por um aço, mas isso não se dá, exclusivamente, pelo teor de carbono. O teor de carbono tem relação direta com o valor máximo de dureza atingido pela liga. Mas, esse valor pode ser somente superficial. Ou seja, a temperabilidade de um aço é que vai ditar sua característica tenaz em se ter certos níveis de dureza em regiões mais profundas do material.

Gabarito: “c”.

28. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2017)

Em diversas aplicações na engenharia, frequentemente são necessárias ligas metálicas com uma alta resistência e que apresentem alguma ductilidade e tenacidade, o que representa um desafio para os engenheiros metalúrgicos e de materiais. Por exemplo, nas aplicações estruturais, é necessário que as ligas apresentem uma alta resistência para sustentar cargas diversas e que a ductilidade e tenacidade do



material sejam adequadas para evitar uma ruptura abrupta, o que confere confiabilidade e segurança ao projeto. Em relação aos mecanismos de aumento de resistência, pode-se afirmar que

- a) os contornos de grão são responsáveis por restringir a movimentação das discordâncias, pois um dos fatores que restringem esse movimento são as orientações diferentes entre os grãos que faz com que esse movimento tenha que mudar de direção.
- b) o aumento da resistência por solução sólida confere uma maior resistência aos materiais pela diminuição do tamanho de grãos na rede atômica, dificultando o movimento das discordâncias.
- c) o encruamento confere uma multiplicação e formação de novas discordâncias no material, facilitando o movimento das mesmas pelo o aumento de densidade de discordâncias na rede atômica.
- d) a introdução de impurezas substitucionais ou intersticiais no material introduzem uma deformação na rede atômica, que é responsável pelo aumento de ductilidade e tenacidade.

Comentário:

Olha aí, Coruja! Uma questão que nos cobra o conhecimento sobre os **mecanismos de aumento de resistência mecânica**. Vejamos:

Letra "a": exatamente! Eis o gabarito. De fato, os contornos dos grãos que compõem o retículo cristalino dos materiais constituem barreiras para a propagação de uma discordância e seu arranjo com diversas direções é um dos fatores que limitam os deslocamentos e, conseqüentemente, aumentam a resistência mecânica do material;

Letra "b": errada! De fato, esse é um mecanismos de aumento de resistência, mas o aumento por solução sólida não faz com que tamanho dos grãos seja diminuído;

Letra "c": errada! Novamente, a alternativa começa correta, mas peca no final. O **encruamento** (trabalho a frio) gera novas discordâncias que serão barreiras ao movimento das originais. Todavia, o movimento **não é facilitado** como a alternativa diz e, sim, dificultado;

Letra "d": errada! Pela inclusão de impureza substitucionais como átomos que ficam intersticiais nas redes dos cristalinos geram uma tensão pela deformação da rede do cristalino do material. Porém, esse fato aumenta a **dureza** e a **resistência mecânica** e não a ductilidade. Quanto a tenacidade, dependerá de outros fatores a fim de avaliar o comportamento da liga no regime elástico, mas, também pode ser diminuída a depender da situação.

Gabarito: "a".

29. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2016)



Dentre as características que credenciam os metais como os materiais mais utilizados no mundo, a capacidade de alterar as propriedades mecânicas em função do tempo, temperatura e deformação é considerada como uma das mais importantes. Indique a alternativa que apresenta apenas mecanismos de aumento da resistência mecânica em metais.

- a) Encruamento, refino de grão, recuperação e recristalização.
- b) Refino de grão, envelhecimento, precipitação e recuperação.
- c) Refino de grão, envelhecimento, precipitação e encruamento.
- d) Envelhecimento, crescimento de grão, precipitação e encruamento.

Comentário:

Moleza! Vimos que os **principais mecanismos de aumento de resistência mecânica** são: **refino de grão** (claro, grãos menores e mais juntos, maior dificuldade para se moverem e gerar deslocamentos dos planos cristalográficos); **envelhecimento** (vimos que é um tipo de tratamento muito empregado em ligas de alumínio); **precipitação** (com elementos precipitados há maior tensão em alguns casos e maiores obstáculos para o movimento) e **encruamento** (trabalho a frio que pelas deformações e geração de novas discordâncias, também aumenta os obstáculos para o movimento das discordâncias antigas e dos planos).

Gabarito: “c”.

30. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2016)

Antes de ser conformada, uma barra de aço SAE 1045 passa por um processo de esferoidização para que suas propriedades sejam melhoradas no processo posterior de estampagem a frio. É considerada a principal alteração microestrutural do aço SAE 1045 após o processo de esferoidização

- a) o encruamento da ferrita pró-eutetoide.
- b) a recristalização completa da austenita.
- c) a transformação da austenita em bainita.
- d) a alteração do formato lamelar da cementita no constituinte perlita.

Comentário:

Oras, questão tranquila também, Coruja! Na **esferoidização** (considerada como um subtipo do tratamento de recozimento) temos uma **alteração no formato lamelar da cementita** no constituinte da **perlita** (lembre-se que a perlita não é uma fase e, sim, um conjunto de fases, sendo formada por ferrita e cementita em lamelas alternadas). Assim, como vimos, esse formato lamelar tende a sofrer uma leve

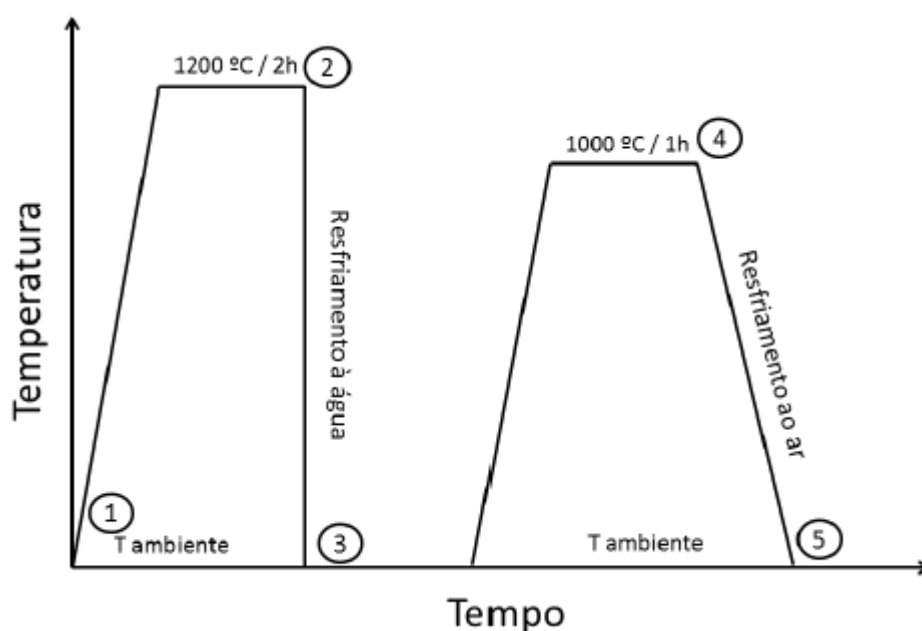


esferoidização (nome do tratamento), gerando uma microestrutura **esferoidita**. As demais alternativas é viagem da banca!

Gabarito: “d”.

31. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2016)

Uma peça metálica fabricada a partir de um aço SAE 1035 normalizado é submetida ao seguinte ciclo térmico.



Quais as fases e constituintes presentes no material nos pontos 1, 2, 3, 4 e 5?

- a) Ferrita + Perlita / Austenita / Martensita / Austenita / Martensita.
- b) Ferrita + Perlita / Austenita / Martensita / Ferrita / Ferrita + Perlita.
- c) Ferrita + Perlita / Austenita / Martensita / Austenita / Ferrita + Perlita.
- d) Ferrita + Perlita / Austenita / Ferrita + Perlita / Austenita / Martensita.

Comentário:

Questão excelente para treinarmos vários pontos da matéria. Perceba, Coruja, que temos um aço SAE 1035 (ou seja, **hipoeuteóide** por conta do teor de carbono - 0,35%). Apesar de não termos visto classificação de aço (será objeto de estudo de outra aula), essa é uma classificação básica. Vejamos em cada ponto a **microestrutura**:



1 - tranquilo! Veja que estamos na temperatura ambiente, logo, para o aço **hipoeutetoide**, temos **ferrita + perlita**!;

2 - tranquilo, também! O aço foi aquecido acima da zona crítica! Temos a microestrutura **austenítica**!;

3 - opa! Aqui vem o tema da aula de hoje! Resfriamento rápido para a atingir o ponto 3. Logo, qual a microestrutura que possui **alta tensão** (elevada dureza, inclusive) por conta do carbono que ficou intersticial e não teve tempo de se desprender da microestrutura ferrítica no resfriamento? É a **martensita**! Falou em resfriamento brusco, abaixo de 200 °C, Coruja, teremos martensita!;

4 - aqui está o pega! Você pode ter pensando: "Ah, aqueceu de novo, depois da martensita ser atingida! É revenido!". Não, caro "padawan". Veja a temperatura atingida! 1000 °C! Entrou de novo no campo **austenítico**! Lembre-se que o **revenido** feito após à tempera fica próxima a temperatura na faixa da linha A₁ (cerca de 700 °C). Logo, como passou consideravelmente, temos austenita de novo;

5 - apesar de, na minha opinião, a banca poderia deixar mais clara essa transformação, colocando o joelho da Curva TTT, pois somente pela inclinação (não há métrica para tal) e o meio de resfriamento (ar, apesar de menos severo que água, também pode ser utilizado na tempera), subentende-se que a microestrutura não é martensita e, sim, perlita + ferrita. Mas, novamente, friso: a questão deveria ter dado mais informações do que simplesmente mudar o meio e inclinar um pouco a curva de resfriamento;

Gabarito: "c".

32. (EAOEAR/Engenheiro Mecânico – 2015)

Quanto aos tratamentos térmicos dos aços, que recebem denominações diferentes de acordo com a velocidade de esfriamento ou com o produto obtido, assinale a alternativa correta.

- a) Na normalização, o resfriamento do campo austenítico é rápido, obtendo-se perlita fina esferoidizada.
- b) No recozimento, o resfriamento do campo austenítico é lento, obtendo-se ferrita mais perlita se o aço for hipoeutetoide.
- c) No recozimento, o resfriamento do campo austenítico é rápido, obtendo-se ferrita mais perlita se o aço for hipereutetoide.
- d) Na normalização, o resfriamento do campo austenítico é lento e ocorre a globulização da cementita, que faz parte da perlita.

Comentário:

Tranquila questão que nos cobra as **diferenças** entre os **tratamentos térmicos** denominados **Normalização** e **Recozimento**! Vamos ver cada assertiva, Coruja:



Letra "a": errada! Apesar do fato de que na normalização o **resfriamento é rápido** e a **microestrutura final** é a **perlita fina**, ela não é **esferoidizada**! Lembre-se que, por conta do resfriamento rápido, os grãos ficam mais finos (não teve tempo de crescer);

Letra "b": certa! Apesar de termos diferentes subtipos de **recozimento**, admitindo-se o **pleno**, de fato, seu **resfriamento é lento** (lembre-se que seu objetivo é remover tensões e ajustar o tamanho do grão, precisando de tempo para isso). Além disso, conforme vimos, se o aço for **hipoeutetoide**, temos a microestrutura final composta por **ferrita** e **perlita grosseira**;

Letra "c": errada! Dois erros: o resfriamento é lento e não rápido, além da microestrutura final ser **perlita grosseira** e **cementita** para o aço **hipereutetoide**;

Letra "d": errada! Vimos que o resfriamento é **rápido** na normalização e **não ocorre a globulização da cementita**.

Gabarito: "b".

FGV

33. (FGV/PC-RJ – Perito Criminal - Engenharia Mecânica – 2021)

O tratamento térmico realizado no aço que consiste no seu aquecimento a uma temperatura acima da zona crítica, seguido de esfriamento ao ar, é conhecido como:

- a) normalização;
- b) têmpera;
- c) revenido;
- d) recozimento isotérmico;
- e) recozimento total.

Comentário:

Questão muito boa que nos cobra os tipos de **tratamentos térmicos** e suas **diferenças**! Vejamos cada alternativa, Coruja!

Letra "a": perfeita! De cara, temos o gabarito da questão. Lembre-se que a **normalização** é um tratamento com objetivo similar ao recozimento (aliviar tensões, reduzir dureza, aumentar a ductilidade, por exemplo). Todavia, na normalização há a **busca** por tornar os **grãos mais finos** depois do resfriamento. Para isso, ele tem que ser **rápido** (não tão rápido quanto a **têmpera**). Assim, o aço é colocada a temperaturas levemente acima da linha A_{cm} (entre um pouco no campo austenítico) e o resfriamento rápido não permite crescimento de grãos, gerando a perlita fina;



Letra “b”: errada! Essa poderia gerar dúvidas, mas, lembre-se que na **têmpera** o resfriamento é **muito** rápido (mais que na normalização). Por isso, usa-se, comumente, um meio contendo **água, salmoura, ar e óleo** com alguma composição de sais. Perceba que não é somente ar, utilizado. Detalhe sutil, mas que daria para matar, pois o enunciado deveria mais detalhes para ser a têmpera, indo além do meio e, também, de valores para temperatura na zona crítica (têmpera, de acordo com a doutrina, o aço é aquecido até cerca de 50 °C acima da zona crítica, como a linha A₁ para aços hipoeutetóides);

Letra “c”: errada! O **revenido** consiste no tratamento feito **depois da têmpera**. Nesse tratamento térmico do tipo calórico, o **aço temperado** é submetido a **temperaturas** abaixo da **zona crítica**. Dessa forma, como consequência desse tratamento **posterior à têmpera**, ocorre um **aumento** na **ductilidade** tão reduzida na têmpera anterior e **redução da dureza e resistência a tração**. Além disso, **o principal objetivo** é **reduzir as tensões internas** provenientes da **têmpera**;

Letra “d”: errada! É um subtipo de recozimento **pleno**, Coruja, como cita a literatura específica. Nele, temos um **resfriamento em duas etapas: uma rápida** até uma temperatura na parte superior do diagrama de transformação **isotérmica** (na mesma temperatura até **a austenita se transformar em produtos normais da sua transformação** – como perlita e ferrita, por exemplo) e a outra até a temperatura ambiente;

Letra “e”: errada! Nesse tipo, a temperatura de aquecimento fica **acima** da **temperatura de recristalização** daquela liga específica (seria a zona crítica dos aços, liga Fe-C, conforme vimos na primeira parte da aula). Outra característica desse tipo é o **resfriamento lento** que ocorre **dentro de um alto forno**, gerando **propriedades mecânicas uniformes em toda a peça**. Logo, o resfriamento não é rápido como na normalização via ar.

Gabarito: “a”.

34. (FGV/IMBEL – Engenharia Mecânica – 2021)

Sobre os tratamentos térmicos no aço, listados a seguir, assinale (V) para a afirmativa verdadeira e (F) para a falsa.

() A normalização elimina tensões internas em peças que sofreram deformações alcançando, assim, uma estrutura mais homogênea.

() A têmpera aumenta a tenacidade e a elasticidade do aço.

() No revenido, há aumento da ductilidade do aço.

As afirmativas são, na ordem apresentada, respectivamente,

a) V – V – V.



- b) V – F – V.
- c) V – F – F.
- d) F – V – V.
- e) F – F – F.

Comentário:

Opa! Questão tranquila sobre os tratamentos térmicos denominados **Normalização**, **Revenido** e **Têmpera**! Vamos ver cada assertiva, de cima para baixo:

V – perfeita! Oras, como vimos, no tratamento de **Normalização**, temos objetivos parecidos com o **Recozimento** que é **remover tensões internas** e tentar buscar uma estrutura mais **homogênea** com foco em propriedades mecânicas iguais em toda a peça. Além disso, temos um resfriamento mais rápido, com a meta de atingir **grãos mais finos**;

F – errada! Vimos que a **Têmpera** não tem como foco aumentar a **elasticidade do aço**. Nesse tratamento, o objetivo é atingir a microestrutura **Martensítica** que possui elevada tensão interna pelo carbono intersticial por conta da altíssima velocidade de resfriamento. Essa microestrutura possui **elevada dureza** e **elevada fragilidade** (consequentemente, **baixa ductilidade**). Além disso, a **Têmpera** não aumenta a tenacidade (pelo contrário). Lembre-se que essa propriedade também está associada com a deformação plástica do material e, para aços que sofreram o tratamento de têmpera, costuma-se fazer o **Revenido**, a fim de aumentar a tenacidade e diminuir a fragilidade do aço;

V – perfeita! Conforme comentei, de fato, no **Revenido** (tratamento comumente feito posterior à **Têmpera**) tem como foco aumentar a **ductilidade** e a **tenacidade** do material, bem como diminuir as tensões internas pela “liberação” do carbono intersticial, diminuindo, também, a dureza da liga.

Gabarito: “b”.

35. (FGV/TJ-AM – Analista Jurídico – Engenharia Mecânica – 2013)

O tratamento térmico de recozimento visa regularizar a textura bruta de fusão, eliminar o efeito de quaisquer tratamentos térmicos e mecânicos a que o aço tenha sido submetido anteriormente, a estrutura resultante é a normal de acordo com os tipos de aço. Se o aço for hipereutetoide, a estrutura resultante do recozimento será?

- a) ferrita.
- b) perlita.
- c) cementita.
- d) ferrita mais perlita.



e) perlita mais cementita.

Comentário:

Estrategista, apesar da questão mencionar o tratamento térmico de recozimento, ela exige mais o seu conhecimento sobre qual a composição da liga **hipereutóide**. Vimos que esse tipo de aço possui teores maiores de carbono em sua composição o que enseja uma microestrutura **formada por perlita** (que não é uma fase, lembre-se) com mais **cementita** formada (por conta do teor maior de carbono). Dessa forma, a microestrutura resultante será composta por **perlita** (que são lamelas alternadas de ferrita e cementita) e uma fase de **cementita** mais evidente.

Gabarito: “e”.

FCC

36. (FCC/EMAE-SP – Engenheiro – Mecânica – 2018)

Um tratamento térmico de coalescimento aplicado ao aço visa

- a) aumentar a dureza superficial.
- b) diminuir a capacidade de alongamento do material.
- c) reduzir a dureza.
- d) dificultar a estampabilidade ou deformabilidade do material.
- e) aumentar a resistência mecânica do material.

Comentário:

Letra “a”: essa alternativa vai de encontro com o que estudamos. É justamente o contrário. O objetivo principal desse tratamento é **reduzir** a dureza do aço. Alternativa errada;

Letra “b”: conforme mencionado na explicação da alternativa “a”, não é esse um dos objetivos do coalescimento. Alternativa errada;

Letra “c”: de acordo com o que vimos, um dos principais objetivos do tratamento de **coalescimento** é **diminuir a dureza do material** pela formação de uma microestrutura “esferoidita” e, assim, **melhorar a usinabilidade** de aços alto carbono, por exemplo. Alternativa correta;

Letra “d”: pelo contrário, Estrategista, se o objetivo é atingir **menor dureza** no aço, teremos uma **melhora na estampabilidade e deformabilidade**, facilitando processos de fabricação pela melhora na **usinabilidade** desse material. Alternativa errada.

Letra “e”: conforme vimos em aula, resistência mecânica é um conceito amplo e complexo. Ao meu ver, a alternativa é infeliz em definir como errado “**aumentar a resistência mecânica**”, já que reduzir a dureza, não necessariamente implica em baixa “resistência mecânica” – o material pode ter sua **ductilidade**

70



aumentada e para certos objetivos e atividades, **ser mais resistente que um aço mais duro**. Porém, como vimos, esse aço duro pode ser mais frágil (dureza e fragilidade são conceitos diferentes). Todavia, segundo o gabarito da questão, a alternativa está errada.

Gabarito: “c”.

37. (FCC/SABESP – Engenheiro – Mecânica – 2018)

O tratamento térmico que NÃO sofre influência da curva TTT é:

- a) austêmpera
- b) têmpera
- c) normalização
- d) recozimento
- e) revenimento.

Comentário

Conforme vimos em aula, o **revenido** é o único tratamento que não sofre influência da cura TTT no sentido de atingir microestruturas específicas (perlita fina, grosseira, bainita, etc). Ele é feito posteriormente a **martensita** atingida!

Gabarito: “e”

FEPese

38. (FEPese/DEINFRA-SC – Engenheiro – Engenharia Mecânica – 2019)

Assinale a alternativa que indica corretamente o tratamento térmico usado com frequência em aços com baixos e médios teores de carbono e que irão experimentar uma extensa deformação plástica durante uma operação de conformação ou que serão submetidos à usinagem.

- a) recozimento pleno.
- b) recozimento parcial.
- c) recozimento subcrítico.
- d) normalização subcrítica.
- e) normalização plena.

Comentário



Letra “a”: no recozimento pleno, teremos, em aços médio e baixo carbono, formação de **ferrita** e **perlita grosseira** o que gera melhor usinabilidade, conforme vimos em aula. Alternativa correta;

Letra “b”: mesmo raciocínio explicado em “c”, Estrategista – a deformação plástica será extensa, conforme nos diz o enunciado da questão, necessitando de alta usinabilidade e ductilidade atingida pelo recozimento pleno. Alternativa errada;

Letra “c”: também denominado de **recozimento para alívio de tensões**, o recozimento subcrítico (tem esse nome, pois é aquecido, conforme vimos, até a temperatura abaixo da linha A_1) melhora a usinabilidade, porém não como no **recozimento pleno**. O comando da questão deixa claro que o aço passará por um processo “extenso” de deformação plástica. Alternativa errada;

Letra “d”: novamente, pelo mesmo raciocínio da “e” – a deformação será extensa, exigindo que o material tenha alta ductilidade e usinabilidade, atingidas com o recozimento ou normalização plenos. Alternativa errada;

Letra “e”: aqui poderia surgir uma dúvida para você, Estrategista. Todavia, você deve lembrar que na **normalização plena**, dependendo da geometria da peça, o **resfriamento não é uniforme**, o que resulta em propriedades mecânicas diferentes em toda a peça. Isso não ocorre no **recozimento pleno** que é resfriado em um **ambiente controlado** do alto forno, fazendo com que **todo o material** tenha **propriedades** (como a ductilidade e usinabilidade) uniformes em toda a peça. Por isso, a letra “a” é o gabarito, já que a questão menciona que a peça inteira será conformada. Questão difícil.

Gabarito: “a”.

Ufersa

39. (Ufersa/Ufersa – Engenheiro – Engenharia Mecânica – 2019)

Durante a realização de um tratamento térmico de têmpera de uma peça fabricada de um determinado aço, utilizando-se fluido aquoso, é correto afirmar que:

- a) No resfriamento, ocorre à formação de vapor superaquecido e nucleação de bolhas de vapor sobre a peça, o que impede a troca de calor com o fluido.
- b) Ocorre formação de martensita.
- c) No contato com o referido fluido, ocorre à formação de um filme contínuo de vapor sobre a peça. Em seguida, esse filme de vapor colapsa, promovendo a nucleação de bolhas. Na continuação da redução de temperatura, as bolhas são desfeitas, promovendo um resfriamento por condução e convecção.
- d) Ocorrem a formação de martensita e a presença de austenita retida.

Comentário



Letra “a”: pelo contrário, Estrategista. A troca de calor ocorre por **convecção** por conta de o vapor d’água ser um fluído. Alternativa errada.

Letra “b”: alternativa confusa, pois a depender do estágio da têmpera, também temos a formação da estrutura martensítica (final do processo, por exemplo). Ocorre que, na prática, aplica-se o **revenido** a fim de eliminar as **tensões internas pela supersaturação do carbono por conta do resfriamento rápido** e, a depender da **temperatura** no estágio do revenido, pode ocorrer transformação dos grãos e outra estrutura ser atingida que não seja a martensítica. Provavelmente, foi o equívoco que confundiu o examinador, ao meu ver. Apesar disso, grave: **têmpera convencional** também atinge, ao final do processo, **estrutura martensítica**, como na **martêmpera** (quando o resfriamento é lento). Alternativa errada, mas caberia recurso.

Letra “c”: exatamente isso! A explicação parece ser complexa, mas na realidade é o processo físico que ocorre por conta do vapor d’água proveniente do fluido aquoso do resfriamento. Alternativa correta.

Letra “d”: novamente, mesmo equívoco da letra “b”. Todavia, é errado dizer que a austenita retida será em todo em qualquer aço, pois ela **pode** não ocorrer. Normalmente, ela tende a ocorrer em aços médio e alto carbono, por isso, ao meu ver, o erro da alternativa está na generalização. Alternativa errada.

Gabarito: “c”.

Instituto AOCP

40. (AOCP/ AGESC - Engenheiro Mecânico – 2008)

O encruamento é o fenômeno pelo qual um metal dúctil se torna mais duro e mais resistente quando é submetido a:

- a) uma deformação elastoplástica devido à tração.
- b) uma deformação elástica a temperatura ambiente.
- c) um aumento de temperatura.
- d) uma deformação plástica.
- e) uma deformação plástica devido à compressão.

Comentário:

Conforme vimos, o **encruamento** (também chamado de trabalho a frio) ocorre quando a peça é submetida a **deformação plástica**, na qual há mudanças nas discordâncias originais do retículo cristalino e novas discordâncias são formadas, com tensões geradas que tornam o material mais duro (eleva a dureza da sua microestrutura). Lembre-se sempre que ele é executado em temperaturas muito abaixo da temperatura de recristalização do material (por isso, o nome "trabalho a frio" e as tensões não são eliminadas durante o processo pela falta de recristalização dos grãos).



Gabarito: “d”.

41. (AOCP/ ELETROSUL - Engenheiro Mecânico – 2008)

A respeito dos tratamentos térmicos em ligas ferro-carbono, assinale a alternativa INCORRETA.

- a) O recozimento subcrítico consiste no aquecimento da liga até uma temperatura imediatamente abaixo da temperatura eutetoide.
- b) Em aços com alto teor de carbono, a têmpera em água, pode produzir trincas ou até mesmo o empenamento do material.
- c) Endurecibilidade é um termo que descreve a capacidade de determinada liga ser endurecida pela formação de martensita, quando submetida a um tratamento térmico.
- d) A cementação consiste no endurecimento da superfície externa de um componente de aço, melhorando assim a resistência ao desgaste por fadiga.
- e) Na normalização ocorre o aumento do tamanho médio dos grãos e uma distribuição mais uniforme dos mesmos.

Comentário:

Vejamos cada alternativa sobre as características dos **Tratamentos Térmicos**, Coruja!

Letra "a": correta! O **recozimento subcrítico** (também chamado de **recozimento para alívio de tensões**) tem como uma das suas **características** importantes a **não ocorrência de mudança de fase**, sendo o material aquecido até a **zona crítica “A₁”** do diagrama de fases da liga. Dessa forma, a liga metálica **não chega** ao campo **austenítico**;

Letra "b": correta! De fato, com o resfriamento muito brusco, característico da **têmpera**, como vimos, há a possibilidade, em ligas com alto teor de carbono, de ocorrer o empenamento ou trincas. Um dos meios utilizados para esse resfriamento é aquele com **água**;

Letra "c": correta! Essa é a descrição do termo **endurecibilidade**, também chamado pela doutrina como **temperabilidade** (a capacidade de atingir a têmpera/atingir a microestrutura martensítica que gera elevada dureza);

Letra "d": correta! Conforme vimos, a **cementação** utiliza uma atmosfera rica em **carbono (monóxido de carbono, carvão ou sal à base de cianetos)** a fim de aumentar a dureza na superfície da peça. Dessa forma, melhora também a resistência ao desgaste por fadiga;

Letra "e": errada! A busca da **normalização** é o **refino do grão** (e não o seu aumento de tamanho). Isso ocorre porque o resfriamento é rápido (não tão rápido quanto na têmpera, mas rápido) o suficiente para



não dar tempo de o grão crescer na alta temperatura atingida. As temperaturas na normalização são atingidas logo acima da linha A_{cm} para os aços **hiper-eutetóides** e logo acima da linha A_3 para os aços **hipo-eutetóides**. Além disso, a depender da geometria da peça, o resfriamento pode **não ser uniforme** em toda a peça.

Gabarito: “e”.

CEV-UECE

42. (CEV-UECE/Prefeitura Municipal de Sobral - Engenharia Mecânica – 2018)

Atente às seguintes afirmações sobre os tratamentos térmicos aplicados aos aços:

- I. A têmpera tem como efeito a elevação da resistência de um aço, criando uma solução supersaturada de carbono em ferro chamada martensita.
- II. O revenimento é executado em temperaturas mais baixas do que as praticadas na têmpera, restaurando parte da ductilidade do aço perdida na têmpera.
- III. O recozimento tem como objetivo restaurar as propriedades originais do aço através da elevação da temperatura acima de um ponto crítico seguido por um resfriamento repentino.
- IV. O processo de têmpera é recomendado para engrenagens, uma vez que a elevação da dureza de todo esse componente favorece a absorção de energia de impactos.

Está correto somente o que se afirma em.

- a) II e III.
- b) III e IV.
- c) I e II.
- d) I e IV.

Comentário:

Estrategista, questão tranquila que nos cobra os diferentes **tratamentos térmicos!** Vejamos cada assertiva.

I: perfeita! De fato, a **têmpera** visa aumentar a **dureza** do aço pela formação da microestrutura martensítica. Essa microestrutura metaestável é proveniente do **resfriamento** muito rápido do campo austenítico o que não permite que o carbono se dissolva. Assim, ele fica intersticial no arranjo das células unitárias CCC da ferrita, gerando a célula unitária TCC da martensita o que, por sua vez, promove o



aumento da dureza e tensões internas da microestrutura, além da **super saturação** do carbono que não conseguiu se desprender pela falta de tempo (resfriamento muito rápido), como vimos;

II: certa! O **revenido** é o tratamento no qual temos o aquecimento novamente da liga que possui a microestrutura martensítica da têmpera (elevada dureza) a fim de fazer com que parte do carbono consiga se dissolver, diminuindo as tensões internas, um pouco da dureza e aumentando a **ductilidade** do material:

III: errada! Primeiro que temos vários tipos de **recozimento**, como vimos em aula. Considerando o **recozimento total (pleno)**, de fato, temos que as temperaturas do tratamento são acima da **temperatura de recristalização** (zona crítica) e, pela recristalização do material, novos formatos de grãos são desenvolvidos, aliviando tensões e tornando as propriedades mais uniformes. Todavia, a assertiva erra ao dizer que o resfriamento é repentino, pois ele é **lento** nesse tratamento;

IV: errada! De fato, as **engrenagens** deve ter as **superfícies com alta dureza** a fim de aguentar os esforços em serviço na transmissão de potência e movimento, por exemplo. Todavia, elas precisam ter o interior mais **tenaz** a fim de absorver a energia sem ocorrer alguma ruptura. A absorção de energia não tem relação com o fato de elevar a dureza (muito pelo contrário, já que materiais mais duros, possuem fratura do tipo **frágil**, caso não tenham uma compensação com seu núcleo mais tenaz). Por isso, materiais mais dúcteis (que possuem alto grau de deformação plástica antes de se romper) absorvem mais energia (lembre-se do gráfico no ensaio de tração) do que materiais frágeis que pouco se deformam antes de romper;

Gabarito: “c”.

IESES

43. (IESES/GASBRASILIANO-SP - Engenheiro de Gás Natural Júnior – 2017)

Após a leitura do enunciado apresentado a seguir, identifique a afirmação correta:

O fenômeno pelo qual um metal dúctil se torna mais duro e mais resistente quando ele é submetido a uma deformação plástica, é chamado de:

- a) Encruamento.
- b) Austenitização.
- c) Têmpera.
- d) Revenido.

Comentário:

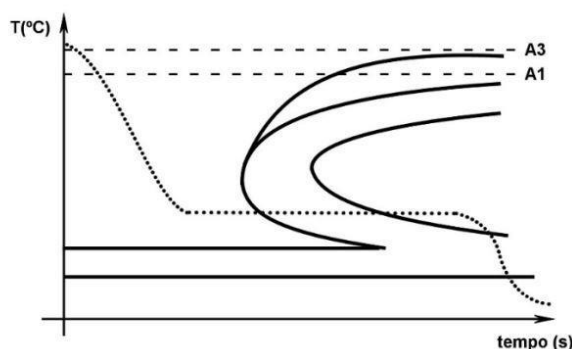


Tranquilidade, Coruja! Oras, o material quando submetido a deformação plástica (aquela que é permanente, pois o material não volta a sua configuração original), temos uma alteração significativa na microestrutura dele. Dessa forma, novas **discordâncias** são formadas e acabam servindo de "obstáculos" e "barreiras" para os movimentos dos planos cristalográficos, muito por conta da tensão gerada com as discordâncias originais do material. Esse fenômeno recebe o nome de **encruamento** do material e faz com que ele fique mais resistente mecanicamente, bem como proporciona um aumento considerável de dureza. Lembre-se que esse encruamento ocorre quando temos essa deformação a frio (em temperatura abaixo da temperatura de recristalização do material). As demais alternativas estão erradas.

Gabarito: "a".

44. (IESES/IGP-SC - Perito Criminal - Engenharia – 2017)

Uma das etapas mais importantes do tratamento térmico dos aços é o resfriamento, onde normalmente é definido o tipo de microestrutura obtida no tratamento. Na figura a seguir é mostrado um diagrama TTT de um determinado aço e a respectiva curva de resfriamento (linha pontilhada) referente ao tratamento térmico aplicado. Assinale a alternativa que contenha o tratamento e microestrutura correspondente.



- a) Tratamento: Austêmpera – Microestrutura: Bainita.
- b) Tratamento: Revenimento – Microestrutura: Martensita.
- c) Tratamento: Têmpera direta – Microestrutura: Martensita.
- d) Tratamento: Martêmpera – Microestrutura: Bainita..

Comentário:

Questão muito boa para trabalharmos os tipos de **tratamentos térmicos** e características das **curvas TTT**. Perceba, Coruja, que temos a **austêmpera** retratada pelo gráfico. Veja que nesse tratamento, o material é submetido a uma temperatura que entra no campo austenítico e sofre um resfriamento rápido até a faixa de 250 a 400°C (ou seja, **não começa a formação da martensita**). Depois, o material é submetido a isoterma (por isso, é um tratamento chamado de **isotérmico**) até completar sua transformação, cruzando a curva e atingindo a microestrutura **bainítica** final. Por fim, é resfriado a temperatura ambiente.



Gabarito: “a”.

45. (IESES/IFC-SC - Fabricação Mecânica – 2015)

Dentre os tratamentos térmicos empregados com o objetivo de alterar as propriedades físicas e mecânicas dos metais cita-se o Tratamento de Normalização. Sobre esse tratamento é correto afirmar que:

- a) A normalização do aço é feita quando se deseja aumentar a dureza do material pelo aumento do tamanho do grão.
- b) A normalização do aço é feita quando se deseja aumentar o tamanho do grão do material e, consequentemente, reduzir a sua fragilidade.
- c) A normalização do aço é feita quando se deseja aumentar o tamanho do grão do material tendo como efeito colateral o aumento da sua fragilidade.
- d) A normalização do aço é feita quando se deseja refinar o grão do material tendo como consequência a redução da sua fragilidade.

Comentário:

Opa! Questão interessante que nos cobra os detalhes de um tratamento térmico específico: a **normalização**. Vejamos cada alternativa:

Letra "a": errada! Vimos que na normalização o objetivo é **reduzir** a **dureza**, além de atingir tamanhos de grãos mais **finos** (menores, pelo seu refino);

Letra "b": errada! Como falei, os grãos são mais **finos** (menores);

Letra "c": errada, novamente, pelo mesmo motivo (o tamanho do grão final é mais fino/menor e não maior);

Letra "d": perfeita! Exatamente isso. O refino do grão é a característica da normalização que vai torná-lo mais fino e, consequentemente, uma leve redução na fragilidade do material, pois o torna levemente tenaz. Isso ocorre porque o seu resfriamento será muito rápido, impedindo o crescimento do grão (ele não tem tempo para crescer). Dessa forma, a perlita fina é obtida no final do processo, a depender do aço e seus teores, por exemplo.

Gabarito: “d”.

Idecap

46. (Idecap/ HC-UFPE - Engenheiro Mecânico – 2014)



As propriedades e a estrutura do metal podem ser alteradas pelo trabalho a frio. Entretanto, as propriedades alteradas podem ser recuperadas ou devolvidas ao estado anterior ao encruamento mediante um tratamento térmico de recristalização ou recozimento.

O processo de recristalização compreende três etapas. Assinale-as.

- a) Recuperação, aço e ferro fundido.
- b) Aumento de grão, recozimento e recuperação.
- c) Aumento de grão, recuperação e recristalização.
- d) Recuperação, recristalização e aumento do tamanho de grão.
- e) Fase arco-íris, recuperação e diminuição do tamanho de grão.

Comentário:

Tranquilidade, Coruja! Conforme vimos, o processo de **recristalização**, na verdade, como cita Callister em sua renomada obra, é uma etapa dos processos de tratamentos térmicos. Todavia, a banca considera como um tratamento que visa a recristalização do material, pois menciona o tratamento de recozimento. Por conta disso, vimos que, em um primeiro momento, ocorre a **recuperação** do grão, seguida da **recristalização** (etapa na qual as tensões residuais e discordâncias são eliminadas e as propriedades do material volta ao seu estado antes das deformações plástica de um trabalho a frio, por exemplo).

Posteriormente, em temperaturas acima da temperatura de recristalização da liga, ocorre a etapa de **crescimento de grãos**. Veja que se o recozimento é o **total ou pleno**, a temperatura do tratamento fica acima da temperatura de recristalização, ocorrendo aumento do tamanho do grão. Em uma liga Fe-C (aço), por exemplo, chega a entrar no campo austenítico do material.

Gabarito: “d”.

47. (Idecan/HC-UFPE - Engenheiro Mecânico – 2014)

Tratamentos térmicos são utilizados para modificar as propriedades de determinados materiais sem alterar a sua composição química, pela modificação da microestrutura de determinado metal. São vários os tratamentos térmicos e termoquímicos, e uma série de variáveis a serem consideradas. Sabe-se que um determinado tratamento térmico para alívio de tensões residuais realizou um resfriamento lento e permaneceu por algum tempo abaixo da temperatura crítica. Esse procedimento de tratamento térmico visa

- a) aumento da dureza.
- b) aumento da resistência à tração.



- c) aumento de resistência à Fadiga.
- d) aumento do limite de escoamento.
- e) diminuição da condutividade térmica.

Comentário:

Oras, Coruja, tranquilidade total! Vimos que no tratamento térmico denominado de **Recozimento** e nas suas subdivisões, temos como grande contribuição, principalmente para aqueles cujo resfriamento é **lento** (como no Total ou Pleno e na Esferoidização ou Coalescimento), uma **diminuição de dureza** e **aumento da ductilidade** e **usinabilidade**, muito por conta da remoção de tensões internas e recristalização seguida de crescimento de grão (veja que a questão cita que o material foi resfriado e permanece um tempo elevado próximo da zona crítica, subentendendo-se que atingiu o campo austenítico). Dessa forma, as letra "a" e "b" estão equivocadas.

Apesar de não ser assunto dessa aula, quando se estuda **ensaio de fadiga**, percebe-se que o material tem um limite de resistência no qual ele pode suportar inúmeros ciclos de tensão sem sofrer fratura. Todavia, um dos fatores que **diminuem** a resistência à fadiga é a **concentração de tensões**. Oras, a depender do tratamento (não podemos dizer todos, pois depende do tratamento), há grande **alívio nas tensões** do material (como no **recozimento**) ensejando **aumento** da resistência à fadiga pela **diminuição** de pontos concentradores de tensões nesse material. Portanto, a letra "c" está correta.

A letra "d" está incorreta, pois com a redução das tensões internas e aumento do tamanho do grão por conta do tratamento, há uma **diminuição do limite de escoamento**. Lembre-se que esse limite está associado a fronteira entre o campo elástico e plástico, sendo caracterizado pelo movimento das discordâncias na deformação plástica, além de outros fatores. Oras, o material, antes do recozimento, tende a ter um limite de escoamento maior, por conta de tensões residuais e discordâncias que servem de obstáculo para o movimentos da discordâncias. Com o alívio de tensões e recristalização dos grãos com posterior crescimento, eles ficam maiores e com maior facilidade de movimento. Assim, tende a **diminuir** o limite e não aumentar.

A letra "e" está equivocada, pois depois do tratamento a tendência é o retorno a propriedades originais do material. Como cita Callister, as propriedades térmicas e elétricas, por exemplo, voltam ao estado original ainda na etapa de **recuperação** do material.

Gabarito: "c".

Marinha

48. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2020)



O tratamento térmico que tem como objetivos remover as tensões devidas a tratamentos mecânicos, diminuir a dureza, aumentar a ductilidade, regularizar a textura bruta de fusão e eliminar, finalmente, o efeito de quaisquer tratamentos térmicos ou mecânicos a que o aço tenha sido submetido anteriormente é conhecido como:

- a) recozimento.
- b) revenimento.
- c) normalização.
- d) têmpera.
- e) coalescimento.

Comentário:

Estrategista, tranquilidade! O único tratamento possível que **diminui a dureza, aumenta a ductilidade, regulariza a textura bruta de fusão e elimina** qualquer efeito de outros tratamentos, sejam térmicos, sejam mecânicos, é o **Recozimento**! Ainda sobre ele, temos diferentes tipos, como o **Pleno** (seria o caso), o **em Caixa**, para **Alívio de Tensões** (subcrítico) e a **Esferoidização** ou **Coalescimento** (que podem ser entendidos, a depender do autor, como subtipos de recozimento). Perceba que o **Revenimento** (ou **Revenido**) é posterior a **Têmpera** e tem como objetivo somente diminuir um pouco a dureza, ganhar ductilidade e aliviar tensões, mas não há eliminação de todos os efeitos (letra “b”, errada). Além disso, sabemos que a **Têmpera** tem como objetivo atingir a microestrutura martensítica de elevada dureza (letra “d”, errada). A **Normalização** tem efeitos parecidos ao recozimento, mas sua principal característica não é citada: os **grãos são mais finos pelo resfriamento mais rápido** (letra “c”, errada). Por fim, o coalescimento (a banca considera como um tratamento a parte) tem como objetivos, de fato, reduzir dureza e aumentar a ductilidade, mas por meio da microestrutura **Esferoidita** atingida. Além disso, não há total eliminação de todos os efeitos como no recozimento pleno, por exemplo (letra “e”, errada).

Gabarito: “a”.

49. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2020)

Em relação aos tratamentos termoquímicos, coloque V (verdadeiro) ou F (falso) nas afirmativas a seguir e assinale a opção que apresenta a sequência correta.

- () A nitretação permite, além da obtenção de elevada dureza superficial e elevada resistência ao desgaste, melhorar a resistência à fadiga, à corrosão e ao calor.
- () Na cementação, a temperatura do tratamento não deve ultrapassar os 500°C, para que a estrutura austenítica esteja em condições de absorver e dissolver o carbono.



() Antes da cementação, os aços devem ser normalizados para permitir usinagem, pois após a cementação somente operações de retificação podem conferir as dimensões e tolerâncias definitivas.

() A cianetação consiste no aquecimento de um aço a uma temperatura acima de A_1 , num banho de sal de cianeto fundido, acarretando enriquecimento superficial de carbono e tungstênio simultaneamente.

() A boretação consiste na introdução, por difusão, do elemento boro, na superfície do material, originando boreto de ferro com dureza muito elevada.

a) (V) (F) (V) (F) (V).

b) (F) (V) (F) (V) (F).

c) (V) (F) (V) (V) (V).

d) (F) (V) (F) (F) (F).

e) (V) (V) (V) (V) (F).

Comentário:

Opa! Questão interessante que nos cobra conhecimento sobre os **tratamentos termoquímicos**! Vamos lá? Analisando cada assertiva de cima para baixo, temos:

V - Perfeito, Coruja! “*Ipsis litteris*” da literatura específica! Exatamente esses são os objetivos do tratamento denominado **Nitretação**;

F – Errado! Oras, pelo contrário, na **Cementação** vimos que a peça é aquecida até a temperatura **crítica**, indo até um pouco acima dessa zona (ficando entre **900 a 950°C**). Além disso, veja que a assertiva fala besteira sobre a região austenítica, certo? Zona austenítica em 500°C? Nada a ver, Coruja! Vimos que a depender do aço, essa zona começa a ser atingida a partir de 727°C, aproximadamente;

V – “Correctomundo”! Os aços devem ter granulação **finíssima** antes da cementação, pois essa característica confere melhor **tenacidade** na superfície que será **endurecida** e no **núcleo** da peça. Por isso, é comum a **Normalização** da peça (lembre-se que esse tratamento tem o objetivo de deixar o grão mais fino) **antes** da Cementação para garantir processos de Usinagem. Como cita a literatura específica, somente a Retificação pode ser empregada **após** a Cementação para melhorar dimensões e tolerâncias finais;

F – Errada! Não é tungstênio o elemento introduzido junto ao carbono, Coruja e, sim, o **nitrogênio**! Peguinha clássica de bancas de concurso! Atenção, Coruja!;

V – Exatamente! Como vimos em aula, é exatamente esse o princípio de funcionamento e o porquê a **Boretação** gera a dureza elevada na superfície da peça.

Gabarito: “a”.



50. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2019)

Que processo de tratamento térmico introduz maiores quantidades de carbono e é indicado para aços-carbono ou aços-ligas cujo teor original de carbono seja inferior a 0,25%, assegurando que as peças apresentem superfícies duras e um núcleo tenaz?

- a) Niquelação.
- b) Nitretação.
- c) Normalização.
- d) Cementação.
- e) Têmpera.

Comentário:

Estrategista, tranquilidade, “tchierto”? Vimos na parte teórica que a **Cementação** é um tratamento **termoquímico** (errado o enunciado classificar somente como **térmico**) na qual teremos a adição de **carbono** na **superfície** da peça. Normalmente, a peça é de uma **liga de baixo carbono** (como menciona a questão – 0,25 % de teor de carbono) e o objetivo de obter uma superfície dura e com o núcleo mais dúctil e tenaz, justamente pela adição de carbono proveniente do meio no qual a peça está submetida. Assim, ela será aquecida até a temperatura **crítica** (atingindo temperaturas até um pouco acima da zona crítica, de 900 a 950°C) a fim da microestrutura austenítica se desenvolver e, por conta dela, ter a absorção de carbono em profundidades de até 3 mm a depender da temperatura, tempo e concentração de carbono do meio.

Gabarito: “d”.

51. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2019)

Suponha que em determinado tratamento térmico as peças sejam levadas ao forno com temperaturas acima da zona crítica, na faixa de 750°C a 950°C, tendo sua estrutura cristalina transformada para austenita. Suponha ainda que, depois de uma a três horas, o forno seja desligado e a peça retirada e colocada para se resfriar sem interferências. Nesse caso, a estrutura final do aço passam a apresentar grãos finos, distribuídos de forma homogênea. Essa descrição diz respeito a que tratamento térmico?

- a) Têmpera.
- b) Recozimento.
- c) Normalização.
- d) Martêmpera.
- e) Austenização.



Comentário:

Olha aí, Coruja, novamente uma questão sobre tratamento térmicos! Você precisa tê-los em mente para sua prova! A “deixa” da questão está na “estrutura final” que o enunciado cita. A **microestrutura final** formada por **grãos finos** é típica da **normalização**, também! Ela é atingida porque seu resfriamento ao **ar** tende a ser relativamente rápido, não dando tempo para o grão crescer. Além disso, a depender do aço (hiper ou hipoeutetóides) as temperaturas máximas do tratamento serão diferentes – logo acima da linha A_{cm} para hipereutetóides e logo acima da linha A_3 para hipoeutetóides. Por isso, a faixa indo de 750 a 950°C.

Gabarito: “c”.

52. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2019)

Qual tratamento térmico é utilizado para aumentar a dureza dos metais ferrosos?

- a) Revenimento.
- b) Recozimento.
- c) Têmpera.
- d) Niquelação.
- e) Alívio de tensões.

Comentário:

Estrategista, falou em **tratamento térmico** com o objetivo principal de **aumentar a dureza** da peça, lembre-se da **Têmpera**! Dentre todas as alternativas, vimos que ela é a única que tem esse objetivo! A dureza elevada se dá pela microestrutura martensítica atingida na liga de aço. Além da dureza, o material terá elevada dureza, elevada resistência à tração e **baixíssima ductilidade**. Essas mudanças nas propriedades são atingidas pela presença do **carbono** que não conseguiu se “desprender” da microestrutura austenítica por conta do **resfriamento extremamente rápido** (mais rápido que na normalização). Como o carbono é pouco solúvel na microestrutura da ferrita (ferro alfa), pois sua célula unitária é CCC, ele gera tensões pela sua presença nos espaços das células unitárias, gerando a microestrutura martensítica que comentei (que é metaestável, desenvolvendo-se em dado momento células unitárias TCC – Tetragonal de Corpo Centrado) que garante a elevada dureza.

Gabarito: “c”.

53. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2018)

Analise as afirmativas abaixo a respeito dos tratamentos termoquímicos.



I-) A nitretação é um tratamento de endurecimento superficial em que se introduz nitrogênio superficialmente no aço, até uma certa profundidade, sob ação de uma ambiente nitrogenoso, a uma temperatura determinada.

II-) A cementação é um tratamento muito antigo, que consiste na introdução de carbono na superfície do aço, de modo que, depois de convenientemente temperado, o aço apresente uma superfície muito mais dura.

III-) A cianetação, também conhecida como nitrocarbonetação, consiste em submeter o aço a uma temperatura elevada.

Assinale a opção correta.

- a) Apenas a afirmativa I é verdadeira.
- b) Apenas a afirmativa II é verdadeira.
- c) Apenas a afirmativa III é verdadeira.
- d) Apenas a afirmativa I e II são verdadeiras.
- e) Apenas a afirmativa I e III são verdadeiras.

Comentário:

Que “moleza”, hein, Coruja? Vejamos cada assertiva:

I-) Perfeito! Definição sucinta e resumida do processo termoquímico denominado Nitretação. Lembre-se que outras duas características que a difere da Cementação, além do fato da presença de nitrogênio: a Nitretação não precisa de posterior têmpera e a temperatura sempre é abaixo da zona crítica;

II-) Exatamente! Outra definição correta! Lembre-se que a Cementação é o tratamento termoquímico mais antigo (já feito pelos romanos) e que, comumente, se faz a Têmpera (tratamento térmico) posterior;

III-) Errada! Capciosa, mas errada! A Cianetação é um tratamento diferente da Carbonitretação (nome também errado na assertiva que vai de encontro com a literatura específica). Além disso, a faixa de temperatura da Cianetação é menor que a da Carbonitretação.

Gabarito: “d”.

54. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2018)

Assinale a opção que apresenta exemplos de tratamentos isotérmicos.

- a) Têmpera e revenido.



- b) Recozimento e cementação gasosa.
- c) Normalização e cementação sólida.
- d) Nitretação e cementação sob vácuo.
- e) Austêmpera e martêmpera.

Comentário:

Nossa! Maravilha, hein? Que caia mais uma dessas na sua prova, Coruja! Rs. Conforme vimos em aula, os dois tratamentos **isotérmicos** (que não necessariamente tem a mesma temperatura durante **todo o processo**) são: **austêmpera** e **martêmpera**.

Gabarito: “e”.

55. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2014)

Dentre os tratamentos térmicos comuns das ligas metálicas, como se denomina o tratamento que se caracteriza pelo resfriamento muito rápido, que emprega geralmente líquidos, onde as peças são mergulhadas depois de aquecidas convenientemente?

- a) Revenido.
- b) Têmpera.
- c) Normalização.
- d) Recozimento.
- e) Coalescimento.

Comentário:

Como já mencionei várias vezes, Coruja: falou em **velocidade de resfriamento MUITO rápida**, falou em **Têmpera!**

Gabarito: “b”.

56. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2013)

Qual é o tratamento térmico utilizado para se obter uma granulação mais fina no aço?

- a) Normalização.
- b) Têmpera.
- c) Revenido.



- d) Recozimento.
- e) Esferoidização.

Comentário:

Novamente, Coruja: mais uma de tratamento térmico ou termoquímico! Não adianta, vai cair na sua prova! Conforme vimos, a **Normalização** é o tratamento térmico que visa atingir uma microestrutura composta por **grãos mais finos**, devido ao resfriamento rápido (não tão rápido quanto na **Têmpera**), que não permite o crescimento dos grãos.

Gabarito: “a”.

57. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2013)

Em relação aos tratamentos térmicos e termoquímicos, assinale a opção correta.

- a) A cementação consiste na introdução de carbono na superfície de aços de baixo carbono. A profundidade de cementação depende apenas da temperatura.
- b) O objetivo fundamental da têmpera das ligas ferro-carbono é obter uma estrutura perlítica, o que exige um resfriamento rápido.
- c) O revenido, realizado após a têmpera, tem como objetivo aliviar as tensões e corrigir a excessiva ductilidade do aço temperado.
- d) Na martêmpera, a formação da martensita se dá de modo uniforme através de toda a seção da peça e evita-se o aparecimento de quantidade excessiva de tensões internas.
- e) Na austêmpera consiste no aquecimento do aço a temperaturas acima da crítica, seguido de resfriamento rápido de modo a evitar a transformação da bainita, até o nível de temperaturas correspondentes à formação da austenita. O aço é mantido nessa temperatura até que toda a bainita se transforme em austenita.

Comentário:

Olha aí, Estrategista! Mais uma! O tema Tratamentos Térmicos e Termoquímicos é quente! Eu diria, fervendo para sua prova! Rs. Vamos ver cada alternativa:

Letra “a”: começa bem, definindo exatamente a **Cementação**, porém a alternativa ao afirmar que a **profundidade** só depende da temperatura: **ela irá depender, também, do tempo** e da **concentração de carbono** do meio no qual a peça está inserida e sofre o tratamento em questão;

Letra “b”: errada! Conforme vimos, o objetivo é atingir a microestrutura **martensítica**;



Letra “c”: errada! De fato, o **Revenido** é feito após a **Têmpera** (como eu costumo dizer: é um “casalzinho” – sempre andam juntos! Rs.), cujo o objetivo é reduzir as tensões internas gerada pelo carbono intersticial que ficou retido. Todavia, ele visa corrigir o excesso de dureza e não de ductilidade (que é baixa por conta da **Têmpera**);

Letra “d”: perfeita! Eis o nosso gabarito! **Martêmpera**, conforme vimos, é um tratamento **isotérmico**, no qual parte do processo tem resfriamento **lento** a fim de se atingir a **homogeneidade** na peça, com a microestrutura martensítica uniforme na peça inteira;

Letra “e”: errada! A questão tenta confundir você, Coruja, começando certo! Mas, o erro é na troca das microestruturas **austenita** e **bainita**. Na realidade, depois do resfriamento rápido (que tem o intuito de evitar a transformação da **austenita** (em martensita, por exemplo) até a temperaturas de formação da **bainita**. Assim, a peça é mantida nessa temperatura até a completa transformação da microestrutura em **bainita**.

Gabarito: “d”.

58. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2012)

Em relação aos tratamento térmicos aplicados aos aços, é correto afirmar que:

- a) A austêmpera é aplicada em aços de baixa temperabilidade.
- b) A normalização produz uma estrutura mais fina.
- c) O revenimento é aplicado no material logo após a cementação.
- d) A têmpera aumenta a ductilidade e a tenacidade do aço.
- e) O coalescimento aplica-se aos aços de baixo carbono.

Comentário:

Vejamos cada alternativa, Estrategista!

Letra “a”: errada! Na realidade, o objetivo da **Austêmpera** é atingir a microestrutura chamada **bainita** que, por sua vez, substitui a martensita revenida, pois gera menos tensões internas. Por conta disso, ela é indicada para aços com **elevada temperabilidade** (temperabilidade é a capacidade do aço em atingir a microestrutura martensítica depois do tratamento de Têmpera, Coruja!).

Letra “b”: perfeita! Conforme já vimos, esse é um dos objetivos da Normalização.

Letra “c”: errada, o **Revenido** é aplicado logo após a Têmpera, a fim de eliminar as tensões internas geradas neste tratamento térmico.



Letra “d”: errada, pois um dos efeitos negativos da **Têmpera** é a baixa ductilidade e tenacidade atingida. Em contrapartida, aumenta-se a dureza e resistência mecânica da peça.

Letra “e”: errada! O **principal objetivo** é **reduzir a dureza do material** e, assim, **aumentar a usinabilidade** dele. Esse objetivo é justamente alcançável por conta do desenvolvimento da **microestrutura “esferoidita”** que dá uma das denominações do processo, além de **coalescimento**. Dessa forma, esse tipo de recozimento é muito utilizado em **aços alto carbono** e não baixo carbono.

Gabarito: “b”.

59. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2012)

Dentre os processos de tratamentos termoquímicos, a nitretação é caracterizada por:

- a) Ter uma faixa de temperatura mais baixa que a cementação.
- b) Utilizar a ação do nióbio no endurecimento superficial.
- c) Introduzir níquel na superfície de aços de baixo carbono.
- d) Possuir apenas a técnica que utiliza o gás amônia.
- e) Somente melhorar a resistência à fadiga e ao calor.

Comentário:

Estrategista, conforme vimos, o tratamento termoquímico denominado de **Nitretação** irá utilizar a ação do **nitrogênio** no endurecimento superficial (letras “b” e “c”, erradas). Além disso, possui diferentes técnicas além da utilização de gás amônia, podendo ser utilizado o banho de sal, com sais de sódio e potássio, como NaCN (letra “d”, errada). De fato, na **Nitretação líquida com banho de sais** há uma melhora na resistência à fadiga e ao calor, mas não é somente esse tipo de melhora que existe no tratamento, pois seu foco, é elevar a dureza superficial. (letra “e”, errada). De fato, a faixa de temperatura da Nitretação é em torno de 500 a 560°C, bem menor que na Cementação (entre 900 e 950°C) – (letra “a”, correta).

Gabarito: “a”.

60. (Marinha – Técnico da Marinha – Mecânica – 2012)

Analise as afirmativas a seguir em relação aos tratamentos térmicos dos aços.

I – O recozimento em caixa pode ser utilizado para eliminar o efeito do encruamento, porém não é capaz de proteger a superfície da oxidação.



II- O resfriamento posterior na normalização é mais lento do que no recozimento, o que produz uma estrutura mais grossa.

III- O coalescimento visa à produção da estrutura esferoidita que confere aos aços uma dureza muito baixa.

- a) As afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- b) Apenas a afirmativa I é verdadeira.
- c) Apenas a afirmativa I e II são verdadeiras.
- d) Apenas a afirmativa II e III são verdadeiras.
- e) Apenas a afirmativa III é verdadeira.

Comentário:

Vejamos cada assertiva, Coruja!

I-) errada! Pelo contrário, justamente o **Recozimento em Caixa**, por conta da “caixa” temos a atmosfera protetora que visa proteger a superfície do material contra a **oxidação** pelo oxigênio atmosférico;

II-) errada! Como vimos, na **Normalização** temos um resfriamento relativamente rápido quando comparado ao Recozimento e seu objetivo é atingir uma granulação mais **fin**a, devido a velocidade de resfriamento não permitir o crescimento dos grãos;

III-) certa! Dizer que a dureza ficara MUITO baixa é um exagero, mas por conta do formato dos grãos, de fato, ocorre uma diminuição da dureza e aumento da **usinabilidade** do aço. Esse tratamento também é denominado de **Coalescimento**, sendo considerado um tipo de recozimento por parte da doutrina.

Gabarito: “e”.



ESSA LEI TODO MUNDO CONHECE: PIRATARIA É CRIME.

Mas é sempre bom revisar o porquê e como você pode ser prejudicado com essa prática.



1 Professor investe seu tempo para elaborar os cursos e o site os coloca à venda.



2 Pirata divulga ilicitamente (grupos de rateio), utilizando-se do anonimato, nomes falsos ou laranjas (geralmente o pirata se anuncia como formador de "grupos solidários" de rateio que não visam lucro).



3 Pirata cria alunos fake praticando falsidade ideológica, comprando cursos do site em nome de pessoas aleatórias (usando nome, CPF, endereço e telefone de terceiros sem autorização).



4 Pirata compra, muitas vezes, clonando cartões de crédito (por vezes o sistema anti-fraude não consegue identificar o golpe a tempo).



5 Pirata fere os Termos de Uso, adultera as aulas e retira a identificação dos arquivos PDF (justamente porque a atividade é ilegal e ele não quer que seus fakes sejam identificados).



6 Pirata revende as aulas protegidas por direitos autorais, praticando concorrência desleal e em flagrante desrespeito à Lei de Direitos Autorais (Lei 9.610/98).



7 Concurseiro(a) desinformado participa de rateio, achando que nada disso está acontecendo e esperando se tornar servidor público para exigir o cumprimento das leis.



8 O professor que elaborou o curso não ganha nada, o site não recebe nada, e a pessoa que praticou todos os ilícitos anteriores (pirata) fica com o lucro.



Deixando de lado esse mar de sujeira, aproveitamos para agradecer a todos que adquirem os cursos honestamente e permitem que o site continue existindo.